

# أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

**أحمد محمد محمد كياب**

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد

أستاذ خواص واختبار المواد - قسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة - جامعة الإسكندرية 2010م







# أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

أحمد محمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة و الخرسانة سابقة الإجهاد

استاذ خواص واختبار المواد – قسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة – جامعة الإسكندرية 2010 م

توزيع



دارالمعارف





## إهداء

- أهدى هذا الكتاب لمن كان لهم دور مهم فى نشأتى وتعليمى والشد من أزرى.
- إلى روح والدى الطاهرة الحاج محمد دياب.
  - إلى روح والدتى الطاهرة.
  - إلى زوجتى الغالية.
  - إلى أبنائى المهندس / محمد والطبيب / أحمد والمهندس / عبد الرحمن وعبد الحميد.
  - إلى إختى وخاصة المهندس عطية.
  - إلى أساتذتى الذين علمونى.
  - إلى جميع أبنائى من المهندسين الذين علمتهم والذين لم أعلمهم .

## شكر

أشكر كل أفراد أسرتى وخاصة زوجتى وابنى الطبيب/ أحمد الذى كان له دور رئيسى فى ظهور هذا الكتاب وشكرى لكل العلماء والزملاء الذين استخدمت أبحاثهم وشكرى لكل المهندسين الذين ساعدونى فى إعداد الكتاب وشكرى للموظفين العاملين بالمكتب الاستشارى الهندسى (دياب) الذين كان لهم دور بارز فى صدور هذا الكتاب.







## تقديم

قال تعالى "الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ"  
"وَأَمَّا مَنْ خَافَ مَقَامَ رَبِّهِ وَنَهَى النَّفْسَ عَنِ الْهَوَىٰ فَإِنَّ الْجَنَّةَ هِيَ الْمَأْوَىٰ" صدق الله العظيم

إن الأمم لتنهض بالأخلاق والعلم وقد شرفني الله سبحانه وتعالى واختار لي أن أكون أستاذاً أعلم المهندسين واختار لي أساتذة ذوي أخلاق عالية ومنهم د/ حماد يوسف حماد ود/ أحمد شكرى ود/ عادل بركات ومنهم تعلمنا معنى الانتماء والأخلاق وأسأل الله أن يجعل في هذه الأمة دائماً مثل طيبة يقتدى بها الناس.

يتضمن هذا الكتاب مواد الخرسانة من ركام وأسمنت وإضافات ويتضمن صناعة الخرسانة وخواصها وفكرة عن اختباراتها وضبط جودتها.

وقد أثرت أن يكون هذا الكتاب سهلاً مختصراً ليستفيد منه المهندسون ويحتوى هذا الكتاب على المعلومات اللازمة عن الخرسانة العادية وبالنسبة للخرسانات الخاصة مثل الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة ذات الألياف أو الخرسانة عالية الأداء ..... الخ فسوف نتناولها قريباً في كتاب منفصل إن شاء الله. وكل فصل من الفصول يحتوى على المعلومات الأساسية لموضوعه ، وأمثلة مبسطة وفكرة واقعية مختصرة عن التجارب، ولم نذكر جميع تفاصيل التجارب. ويمكن للمهندس الذى سيعمل فى مجال الاختبارات التعرف على تفاصيل الأجهزة والمعالجة والإعداد والاختبار من المواصفات القياسية. ولقد أثرت إعطاء قيم حدود المواصفات للحكم على المواد أو الخرسانة لكى يستفيد منها المهندس عند التشييد. والكتاب يشتمل على خطوات صناعة الخرسانة، وطرق الخلط والنقل والصب والمعالجة وإصلاح عيوب الصب واستخدام المضخات لصب الخرسانة. كما يشمل الكتاب على كيفية تعامل المهندسين مع الخلطات الخرسانية وطرق تصميمها بالإضافة إلى طريقة اقتراحها على أمل أن تعتمد مستقبلاً كطريقة مصرية لتصميم الخلطة الخرسانية ويشتمل على تحميلية الخرسانة وإضافاتها ومقاومتها وتشكلها واختباراتها وضبط جودتها.

وقد راعينا أن نكتب هذا الكتاب بلغة عربية سهلة وبمبسطة لكى يتناولها القارئ العربى بسهولة وذكرنا المصطلحات الإنجليزية لكى يتفهم القارئ العربى فى البلدان المختلفة المعنى الحقيقى لأنه قد تختلف المسميات العربية من بلد الى بلد آخر.

وأحب أن ألفت نظر المهندسين الى أن نسبة الانهيار والتصدعات فى المنشآت نتيجة الخطأ فى التصميم أو فى دراسة الأساسات الخاصة بالمنشأ قليلة جداً إذا ما قورنت باستخدام مواد غير جيدة فى الخرسانة، أو بصناعة الخرسانة بطريقة غير جيدة. فكلما استخدم المهندس مواد جيدة وصنع خرسانة كثيفة بها أقل نسبة فراغات ممكنة فسوف يعيش المنشأ الخرسانى عمر طويل قبل حدوث شروخ أو تصدع به وأسأل الله أن ينفعكم بهذا الكتاب ونسألكم الدعاء.







## حقوق الطبع محفوظة

- حقوق الطبع محفوظة للمؤلف ولا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه وتصويره أو إختراق مادته العلمية بأى صورته من الصور دون موافقة كتابيه من المؤلف .





## التعريف بالمؤلف

- حاصل على بكالوريوس الهندسة المدنية من كلية الهندسة جامعة الإسكندرية عام 1978.
- عين معيداً من عام 1978 و حتى عام 1982 فى كلية الهندسة جامعة الإسكندرية قسم الهندسة الإنشائية و كان يعملون فى تدريس مادة خواص و اختبار المواد و ميكانيكا التربة و الأساسات.
- حاصل على درجة الماجستير فى الهندسة الإنشائية فى مجال المواد فى موضوع خواص الخرسانة ذات الألياف.
- عين مدرساً مساعداً من عام 1982 و حتى 1986.
- حاصل على الدكتوراه فى مجال الخرسانة المسلحة و الخرسانة سابقة الإجهاد من الجامعة التكنيكية بلونز ببولندا عام 1986 فى موضوع:  
Shear Strength of Partially Prestressed Reinforced Concrete Beams
- عين مدرساً فى قسم الهندسة الإنشائية بهندسة الإسكندرية عام 1986. و فى عام 1989 قام بالتدريس فى جامعة بيروت العربية.
- عين أستاذاً مساعداً فى عام 1992 و عين أستاذاً لخواص و اختبار المواد بقسم الهندسة الإنشائية بهندسة الإسكندرية عام 1997.
- عضو الكود المصرى لتصميم و تنفيذ المنشآت الخرسانية رقم 203 فى عامى 2001 و 2007 فى لجان خواص المواد و الخرسانة سابقة الإجهاد و لجنة الصياغة عام 2001.
- عضو الكود المصرى لأسس تصميم و اشتراطات تنفيذ استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف فى مجالات التشييد (كود 208) فى اللجنة الدائمة ولجنة الأسس ولجنة الصياغة والمراجعة ولجنة خواص المواد ولجنة التحمل.
- عضو الكود المصرى لتصميم وتنفيذ أعمال المباني كود 2004.
- عضو كود الكبارى (تحت الإعداد).
- عضو مواصفات الخرسانة فى الأجواء الحارة.
- عضو لجنة مواد البناء بأكاديمية البحث العلمى.
- محكم فى اللجنة الدائمة للهندسة الإنشائية و التشييد لترقية الأساتذة و الأساتذة المساعدين.
- صاحب المكتب الاستشارى (بى-س-ب).
- قام بتدريس مواد خواص و اختبار المواد و التفتيش و ضبط الجودة و ترميم المنشآت و هندسة التشييد و أساسيات إدارة أعمال التشييد و تكنولوجيا الخرسانة.





## مقدمة ونظرة تاريخية

تقاس نهضة الأمم بنهضتها العلمية والعمرانية والمحافظة على منشأتها. وفي العصور الأولى استفاد الإنسان من الموارد الطبيعية في البناء وقد استخدم الإنسان الأحجار أو الطوب اللبن بعد تجفيفه في البناء باستخدام مادة لاحمة وهي خليط الطين والماء ولقد استخدم المصريون القدماء الطين بعد إضافة الألياف الطبيعية (تبن القمح) للطوب اللبن والطين لملاشة التأثيرات السلبية للانكماش.

وقد استخدم الإغريق والرومان خليط من الجير ومادة البوزولانا كمادة رابطة. وفي نهاية القرن الثامن عشر بدأ الإنسان في اكتشاف الأسمنت (مثل جون سميتون ، فيكات). وفي بداية القرن التاسع عشر تم إنتاج الأسمنت، وهو مادة تتصلب عند اتحادها بالماء، وسمى الأسمنت بالأسمنت البورتلاندى. وفي نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بدأ استخدام الخرسانة المسلحة حيث يتم وضع أسياخ صلب في الأماكن التي تتعرض لإجهادات الشد. ولفظ الخرسانة يطلق على خليط من كسر الأحجار والرمل والأسمنت والماء. وكلمة Concrete يطلق عليها لفظ الخرسانة في مصر أو لفظ البيتون في بعض البلدان العربية. ويطلق على كسر الأحجار الركام الكبير وفي بعض البلدان العربية يطلق عليها لفظ البحص. وفي العقد الرابع والخامس من القرن الماضي اكتشف الإنسان البوليمرات وأحماض الليجنوسلفونات ومنها عرف كيفية إنتاج إضافات الخرسانة والذي انتشر استخدامها في العقد السادس من القرن الماضي حيث أنه في الأغلب يتم إنتاج خرسانة مضاف إليها مواد ملدنة أو عالية التلدين ، وتطورت صناعة الخرسانة من خرسانة مقاومتها في الضغط في حدود 300 كجم/سم<sup>2</sup> إلى خرسانة عالية المقاومة (أكبر من 400 كجم/سم<sup>2</sup>) إلى خرسانة فائقة المقاومة (أكبر من 1000 كجم/سم<sup>2</sup>) وتم إنتاج الخرسانة ذات الألياف والخرسانة ذاتية الدمك والخرسانة عالية الأداء. وهناك دائماً الجديد في عالم الخرسانة ويجب على المهندس متابعة هذا التطور دائماً.





# الباب الأول

## ركام الخرسانة (Concrete Aggregate) (1)....

### 1-1 عام

#### 2-1 تقسيم الركام (Classification of Aggregate)

- 1- التقسيم طبقاً للمصدر (According to Source)
- 2- التقسيم بناءً على شكل الحبيبات (According to Particle Shape)
- 3- التقسيم بناءً على وحدة وزن الركام (According to Unit Weight)
- 4- التقسيم بناءً على الملمس (Texture)
- 5- التقسيم بناءً على مقياس الحبيبة (Particle Size)

#### 3-1 المحاجر والكسارات (Quarries and Crushers)

#### 4-1 تدرج الركام (Grading of Aggregate)

- 1-4-1 التعريف و المناخل
- 2-4-1 اختبار التدرج الحبيبي (اختبار التحليل المنخلي)
- 3-4-1 المقياس الاعتباري الأكبر للركام (Maximum Aggregate Size)
- 4-4-1 معايير نعومة الرمل (Fineness Modulus)
- 5-4-1 المواصفات القياسية للتدرج الحبيبي
- 6-4-1 حدوث فجوة في التدرج (Gap-graded Aggregate)
- 7-4-1 خلط ركام كبير وركام صغير
- 8-4-1 تحديد نسبة خلط الرمل والركام الكبير للحصول على تدرج ركام شامل معلوم حدود تدرجه
- 9-4-1 خلط ركام كبير مقاسه كبير مع آخر مقاسه صغير للحصول على خليط زلط معلوم التدرج
- 10-4-1 الركام الشامل وتأثير المساحة السطحية (All-in Aggregate and Effect of Surface Area)

#### 5-1 رطوبة الركام (Moisture of Aggregate)

#### 6-1 الوزن الحجمي والنوعى للركام والنسبة المئوية للامتصاص (Unit Weight, Specific Gravity and Absorption)

#### 7-1 مقاومة الركام (Aggregate Strength)

#### 8-1 صلادة الركام (Hardness of Aggregate)

#### 9-1 مقاومة الترابط للركام (Bond of Aggregate)

10-1 الزيادة الحجمية للرمل (*Bulking of Sand*)

11-1 الركام المفطوح (*Flaky Aggregate*)

12-1 الركام المستطيل (*Elongated Aggregate*)

13-1 المسامية (*Porosity*)

14-1 المواد الضارة (*Deleterious Materials*)

1-14-1 الطين والمواد الناعمة (*Clay and Fine Materials*)

2-14-1 الشوائب العضوية (*Organic Impurities*)

3-14-1 الأملاح المحتواه في الرمل (*Salt Contamination*)

4-14-1 الحبيبات الغير ثابتة (*Unsound Particles*)

5-14-1 وجود مواد تؤدي إلى عدم ثبات الركام

(*Materials Yield Unsound Particles*)

15-1 ملحق العملى

1-15-1 طرق أخذ العينات (*Aggregate Sampling*)

2-15-1 اختبار التحليل بالمناخل للركام

Test Method for The Determination of Sieve Analysis of Aggregates

3-15-1 اختبار تعيين النسبة المئوية للإمتصاص للركام

Test Method to Determine The Percentage of Absorption for Aggregate

4-15-1 اختبار تعيين الوزن النوعى الظاهرى للركام

Apparent Specific Gravity of Aggregate

5-15-1 اختبار تعيين الوزن الحجمى والنسبة المئوية للفراغات للركام

Test Method for Determination of Bulk Density ( Volumetric Weight)  
and Percentage of Voids for Aggregate

6-15-1 اختبار تعيين معامل العصوية للركام الكبير

Elongation Index of Coarse Aggregate

7-15-1 اختبار تعيين معامل التفلطح للركام الكبير

Flakiness Index of Coarse Aggregate

8-15-1 اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام بالوزن

Determination of Clay and Other Fine Materials in Aggregates by Weight

9-15-1 اختبار تعيين معامل التهشيم للركام الكبير

Test Method for Determination of Coarse Aggregate Crushing Value:

10-15-1 اختبار تعيين مقاومة الركام الكبير للبرى بجهاز لوس أنجلس

Determination of Abrasion Resistance of Coarse Aggregates in Los  
Angeles Machine



## الباب الثانى الأسمنت (Cement) .... (39)

### 1-2 مقدمة ونظرة تاريخية

### 2-2 خامات الأسمنت البورتلاندى (Materials of Portland Cement)

1-2-2 الحجر الجيرى (Lime Stone)

2-2-2 الطين أو الطمي (Clay or Silt)

### 3-2 صناعة الأسمنت (Cement Industry)

### 4-2 أكسيد الأسمنت

### 5-2 مركبات الأسمنت

### 6-2 إمالة الأسمنت وتأثير مركبات الأسمنت على خواص الأسمنت

### (Cement Hydration & Effect of Cement Compounds on Cement Properties)

1-6-2 إمالة سليكات الكالسيوم

2-6-2 إمالة ألومينات ثلاثى الكالسيوم

3-6-2 تأثير نواتج إمالة الأسمنت على معدلات التفاعل وعلى مقاومة الضغط

(Effect of Cement Hydration Products on Rate of Hydration and Compressive Strength)

4-6-2 درجة حرارة الإمالة (Heat of Hydration)

5-6-2 ميكانيكا الإمالة والتصلب (Hydration Mechanism and Hardening)

### 7-2 الخواص الفيزيائية للأسمنت (Physical Properties of Cement)

1-7-2 نعومة الأسمنت (Fineness of Cement)

2-7-2 قوام العجينة القياسية

Consistency of Standard Paste (ASTM C187)

3-7-2 شك الأسمنت (Setting of Cement)

1-3-7-2 عام

2-3-7-2 العوامل المؤثرة على الشك

4-7-2 عدم الثبات الحجمى (Unsoundness)

### 8-2 مقاومة الضغط لمونة الأسمنت

### (Compressive Strength of Cement Mortar)

### 9-2 أنواع الأسمنت (Types of Cement)

1-9-2 تقسيم هيئة اختبار المواد الأمريكية ASTM لأنواع الأسمنت

2-9-2 أسمنت الخبث (Slag Cement)

2-9-3 أنواع أخرى من الأسمنت

2-9-4 أنواع الأسمنت طبقاً للمواصفة القياسية المصرية م.ق.م 2006/4756

## 2-10 اختبارات الأسمنت

2-10-1 أخذ عينات الأسمنت (Sampling of Cement)

2-10-2 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام منخل رقم 170

Fineness of Cement by the Sieve No. 170

2-10-3 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام جهاز بلين

Determination of fineness of cement using Blaine apparatus

2-10-4 محتوى الماء القياسي اللازم للعجينة الأسمنتية ذات القوام القياسي

Standard Water Content Required for Cement Paste of Standard

Consistency

2-10-4-1 جهاز فيكات

2-10-4-2 خطوات الاختبار

2-10-4-3 زمن الشك الابتدائي والنهائي للعجينة الأسمنتية باستخدام جهاز فيكات

Initial and Final Setting Times of Cement Paste Using Vicat's

Apparatus

2-10-5 تقدير ثبات الحجم (التمدد) للأسمنت بطريقة لوشاتلييه

Le Chatelier Expansion of Cement

2-10-6 تقدير ثبات الحجم (التمدد) بطريقة الأوتوكلاف

Determination of Soundness of Cement Using Autoclave

2-10-7 كثافة الأسمنت (Density Cement)

2-10-8 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية

Compressive Strength of Cement Mortars

2-10-9 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية باستخدام جزء من منشور تم اختباره

انحنائياً

Compressive Strength of Cement Mortars Using Portions of Prisms

Tested In Flexure



## الباب الثالث

### الخرسانة الطازجة (Fresh Concrete) .... (71)

#### 3-1 مقدمة

#### 3-2 قوام الخرسانة (Consistency)

3-2-1 اختبار الهبوط (Slump Test)

3-2-2 اختبار الانسياب (Flow Test)

3-2-3 اختبار كرة الاختراق

#### 3-3 تشغيلية الخرسانة (Workability)

3-3-1 الانفصال (Segregation)

3-3-2 النزيف (Bleeding)

3-3-3 العوامل المؤثرة على التشغيلية

3-3-4 اختبارات التشغيلية

أ- اختبار معامل الدمك (Compacting Factor)

ب- اختبار إعادة التشكل (Remolding Test)

ج- اختبار في بي (Ve-Be Test)

د - العلاقة بين نتائج الاختبارات المختلفة

#### 3-4 الهواء المحبوس (Air Entrained)

3-4-1 فكرة اختبار تحديد محتوى الهواء المحبوس بطريقة الضغط

(Air Content of Concrete Using Pressure Method)

3-4-2 تأثير الهواء المحبوس على خواص الخرسانة الطازجة

#### 3-5 زمن التصلب (Stiffening time)

3-5-1 تعريف زمن التصلب الابتدائي والنهائي

3-5-2 اختبار مقاومة الاختراق لتعيين زمن شك الخرسانة

Test Method for Determination of Concrete Setting Time by  
penetration Resistance

#### 3-6 التعامل مع الخلطات الخرسانية

3-6-1 مقدمة

3-6-2 الحصيله (ح) (Yield)

3-6-3 معامل الأسمنت (م) (Cement Factor)

3-6-4 وحدة وزن الخرسانة  $\gamma$  (Unit weight)

3-6-5 معادلة الحجم المطلق (Absolute Volume equation)

3 - 6 - 6 التعامل مع الخلطات الخرسانيه ذات النسب الوزنيه

3 - 7 التعامل مع الخلطات الحجميه

3 - 8 قياس وحدة وزن الخرسانة عمليا

3 - 8 - 1 عام

3 - 8 - 2 طريقة أخذ عينات الخرسانة الطازجه

3 - 8 - 3 اختبار تعيين كثافة الخرسانة الطازجه

Test Method to Determine the Unit weight of Fresh Concrete

## الباب الرابع صناعة الخرسانة (Concrete Manufacture)....(91)

### 1-4 مقدمة

### 2-4 مرحلة الإعداد والتجهيز

1-2-4 اختيار المواد واختبارها

2-2-4 إعداد القرم والشدات

3-2-4 تجهيز الكميات والعبوات

### 3-4 مرحلة الخرسانة الطازجة

1-3-4 خلط الخرسانة

2-3-4 نقل الخرسانة

### 3-3-4 صب الخرسانة

1-3-3-4 صب المنشآت التقليدية

2-3-3-4 صب الخرسانة تحت الماء وفي الأساسات العميقة

3-3-3-4 صب الخرسانة بالمضخات (Placing by Pumping Method)

4-3-3-4 صب الخرسانة في الأجواء الحارة (Hot Weather Concreting)

5-3-3-4 صب الخرسانة بالشدات المنزقة

6-3-3-4 صب الخرسانة بالشدات النفقية وبواكى الصلب الكبيرة

### 4-3-4 دمك الخرسانة

### 5-3-4 فواصل الصب

### 6-3-4 فواصل التمدد والانكماش

### 4-4 مرحلة الخرسانة الخضراء والمتصلدة

1-4-4 المعالجة

2-4-4 إزالة القرم

3-4-4 معالجة عيوب الصب



## الباب الخامس

### تصميم الخلطة الخرسانية (Concrete Mix Design) .... (121)

#### 1-5 مقدمة

#### 2-5 العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة

#### 1-2-5 تحديد المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية

(Mean Strength or Mix Design Strength)

#### 3-5 طريقة تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة معهد الخرسانة الأمريكي

#### 4-5 تصميم الخلطات ذات المقاومة العالية (Design of High Strength Concrete)

#### 1-4-5 مقدمة

#### 5-5 تصميم الخلطة الخرسانية بالطريقة البريطانية

#### 6-5 اتجاه طريقة تصميم خلطة مصرية موضوعة بالمؤلف

#### 5 - 6 - 1 مقدمة

#### 5-6-2 خطوات التصميم

#### 7-5 ضبط جودة الخرسانة

#### 1-7-5 مقدمة

#### 2-7-5 أسباب تغير مقاومة ضغط الخرسانة في المشروع الواحد

#### 3-7-5 الحكم على جودة الخرسانة من جهة مقاومة ضغطها

#### 4-7-5 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة ( $f_m$ ) والمقاومة المميزة ( $f_{cu}$ )

#### 1-4-7-5 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة ( $f_m$ ) والمقاومة المميزة ( $f_{cu}$ ). طبقاً للكود

المصري

#### 5 - 4 - 2 المقاومة المميزة في طريقة معهد الخرسانة الأمريكي

#### 8-5 أمثلة على تصميم الخلطات الخرسانية

## الباب السادس

### تحمل الخرسانة (Durability of Concrete) .... (165)

1-6 عام

#### 2-6 نفاذية الخرسانة (Permeability of Concrete)

1-2-6 العوامل المؤثرة على النفاذية

2-2-6 اختبارات النفاذية

3-2-6 اختبار الامتصاص

#### 3-6 مهاجمة الخرسانة بالكيماويات

1-3-6 إمامة الأسمنت

2-3-6 مهاجمة الخرسانة بالكبريتات

1-2-3-6 العوامل التي تؤدي إلى سرعة مهاجمة الكبريتات

2-2-3-6 الاحتياطات اللازمة لتقليل المهاجمة بالكبريتات

#### 4-6 ظاهرة الكربنة والإزهار (Carbonation and Efflorescence)

#### 5-6 المهاجمة بالأحماض (Acid Attacks)

#### 6-6 مهاجمة الخرسانة بماء البحر

1-6-6 عام

2-6-6 المهاجمة الكيميائية

1-2-6-6 تأثير الكبريتات

2-2-6-6 مهاجمة الكلوريدات

3-2-6-6 تأثير عوامل أخرى على مهاجمة ماء البحر للخرسانة

4-2-6-6 تأثير الصقيع على الخرسانة

#### 7-6 صدأ صلب التسليح

1-7-6 عام

2-7-6 ميكانيكية حدوث الصدأ

#### 8-6 طرق معالجة السطح الخارجى للخرسانة ضد الكيماويات

#### 9-6 التفاعل القلوى للركام (Alkali Aggregate Reaction)

1-9-6 التفاعل القلوى السليسي (Alkali Silica Reaction)

- 6-9-1 الكشف على التفاعل القلوى السليسى  
6-9-1-2 طرق معالجة وجود هذا الفعل  
6-9-2 التفاعل القلوى الكربونى (Alkali Carbonate Reaction)

#### 6-10 الخواص الحرارية للخرسنة (Thermal Properties of Concrete)

- 6-10-1 الموصلية الحرارية (Thermal conductivity)  
6-10-2 الانتشارية الحرارية (S)(Thermal Diffusivity)  
6-10-3 الحرارة النوعية (C)(Specific Heat)  
6-10-4 معامل التمدد الحرارى (Coefficient of Thermal Expansion)

#### 6-11 مقاومة الخرسانة للحريق

- 6-11-1 العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة للحريق  
6-11-2 تحسين مقاومة المنشأ للحريق



الباب السابع  
مقاومة الخرسانة (Concrete Strength) ..... (197)

7-1 مقدمة

7-2 العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة للضغط

7-3 العوامل المؤثرة على اختبار مقاومة الضغط

7-4 مقاومة شد الخرسانة

7-4-1 مقاومة معايير الكسر

(Modulus of Rupture Strength) (Flexural Strength)

7-5 مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح

(Bond between Concrete and Reinforcement Steel)

7-6 ميكانيكا التشقق (Fracture Mechanics)

7-6-1 منحنى مور للانهييار (Mohr's Failure Criterion)

7-6-2 تأثير حالة الضغط الثانى على مقاومة الضغط

(Biaxial Compression Strength)

7-6-3 تأثير وجود شد جانبى على مقاومة الضغط

(Biaxial Compression Tension Strength)

## الباب الثامن

### إضافات الخرسانة (Admixtures for Concrete) .... (221)

1-8 - عام

2-8 الإضافات المسببة للهواء المحبوس

(Air-Entraining Agent) (ASTM C260)

3-8 الإضافات الكيميائية (Chemical Admixture)

1-3 -8 عام

1-1-3-8 الجرعة (Does)

2-1-3-8 الأساس الكيميائي (Chemical Base)

2-3-8 تقسيم الإضافات الكيميائية طبقاً للـ ASTM

(Classification of chemical admixtures according ASTM C494)

1-2-3-8 الإضافات المقللة للماء (Water reducing admixtures)

2-2-3-8 الإضافات عالية التلدين (Super plasticizers)

3-2-3-8 الإضافات المؤجلة (Retarding Admixtures)

4-2-3-8 الإضافات المعجلة (Accelerating Admixtures)

5-2-3-8 كيفية الحكم على الإضافات الكيميائية طبقاً للـ ASTM C 494-81

3-3-8 الإضافات المعدنية (Mineral Admixture)

1-3-3-8 تقسيم الإضافات المعدنية

2-3-3-8 المواد المعدنية التي يمكن إنتاجها في مصر

3-3-3-8 فعل الإضافات المعدنية

## الباب التاسع

### تشكل الخرسانة (Deformation of Concrete) .... (233)

#### 1-9 مقدمة

#### 2-9 معايير مرونة الخرسانة الاستاتيكية

##### 1-2-9 عام

##### 2-2-9 اختبار معايير المرونة الاستاتيكية في الضغط

##### 3-2-9 معايير المرونة الديناميكية (Ed)

##### 4-2-9 العوامل المؤثرة على معايير المرونة

##### 5-2-9 حساب قيم معايير المرونة نظرياً

#### 3-9 انكماش الخرسانة (Shrinkage of Concrete)

##### 1-3-9 الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage)

##### 2-3-9 انكماش الجفاف (Drying Shrinkage)

##### 3-3-9 تأثير الانكماش

##### 4-3-9 العوامل المؤثرة على انكماش الجفاف

##### 5-3-9 تمدد الخرسانة

##### 6-3-9 طرق حساب الانكماش

#### 4-9 زحف الخرسانة (Creep of Concrete)

##### 1-4-9 عام

##### 2-4-9 أهمية دراسة الزحف

##### 3-4-9 العوامل المؤثرة على الزحف

##### 4-4-9 تأثير إزالة الحمل على الزحف

##### 5-4-9 طرق حساب الزحف

##### 6-4-9 الزحف لأعضاء الخرسانة المسلحة

##### 7-4-9 أهمية حسابات الزحف



**الباب العاشر**  
**اختبارات الخرسانة المتصلدة**  
**(255).... (Testing of Hardening Concrete)**

**1-10 مقدمة**

**10-2 طريقة تحضير مكعبات الإختبار من الخرسانة الطازجة وتحديد مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية**

***Preparation of concrete Test Cubes and Determination of Cube Compressive Strength***

**10-2-1 طريقة أخذ عينات الخرسانة الطازجة بالموقع**

**10-2-2 مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية**

**10-3 طريقة تحضير أسطوانات الإختبار من الخرسانة الطازجة وتحديد مقاومة الضغط للأسطوانات**

***Preparation of Concrete Test Cylinder and Determination of Cylinder Compressive Strength***

**10-4 طريقة تجهيز وصب كمرات إختبار وتحديد معايير الكسر**

***Preparation and Casting of beams for Modulus of Rupture Test***

**10-5 اختبار مقاومة شد الانفلاق للخرسانة**

**10-6 اختبار القلب الخرساني**

**10-7 مطرقة الارتداد**

**10-8 اختبار النزع**

**10-9 اختبار سرعة قياس النبضات فوق الصوتية في الخرسانة**

***Measurement of ultrasonic Pulse velocity in concrete***

**10-10 تجربة تحميل العناصر والمنشآت الخرسانية**

**10-11 فكرة اختبارات أخرى ذات طبيعة بحثية**

# الباب الأول

## ركام الخرسانة (Concrete Aggregate)

### 1-1 عام :

يمثل الركام حوالى من 75 إلى 80% من مكونات الخرسانة. ومن أهم الخواص المطلوبة فى الركام أن يكون خاملاً، لا يتفاعل مع عجينة الأسمنت (Cement Paste)، حتى لا يحدث تغير حجمى والخرسانة متصلة، مما قد يؤدي إلى تفتت الخرسانة. ومن المعلوم أن الركام خواصه تؤثر على خواص الخرسانة. فلا يمكن الحصول على خرسانة جيدة دون استخدام ركام جيد وسنستعرض فى مايلى أنواع وخواص الركام .

### 2-1 تقسيم الركام (Classification of Aggregate):

#### 1- التقسيم طبقاً للمصدر (According to Source):

- الركام الطبيعى:  
وهو الركام الذى يؤخذ من الطبيعة. وإما يستخدم كما هو مثل الزلط ، أو يتم تكسيره واستخدامه مثل كسر أحجار الدولوميت.
- الركام الصناعى:  
وهو الركام الذى يتم صناعته مثل ركام الليكا. وهونائج من حرق طفل قابل لإخراج غازات عند الحرق أو تضاف مادة محدثة للغازات داخل الفرن ، مما يسمح بزيادة الحجم ، ثم يتم تبريده وتكسير الركام المتكون لنحصل على مادة خفيفة تقل كثافتها عن 0.5 طن/م<sup>3</sup> تستخدم لإنتاج طوب خفيف . كما أنها تستخدم أيضاً لإنتاج الخرسانة الخفيفة. ويمكن أن يكون الركام منتج ثانوى لصناعة معينة (By-product) مثل خبث الحديد الناتج من صناعة الحديد ، والذى يتم تخفيف كثافته بتعريضه لبخار ماء. ويستخدم لإنتاج خرسانة خفيفة إنشائية.

#### 2- التقسيم بناء على شكل الحبيبات (According to Particle Shape):

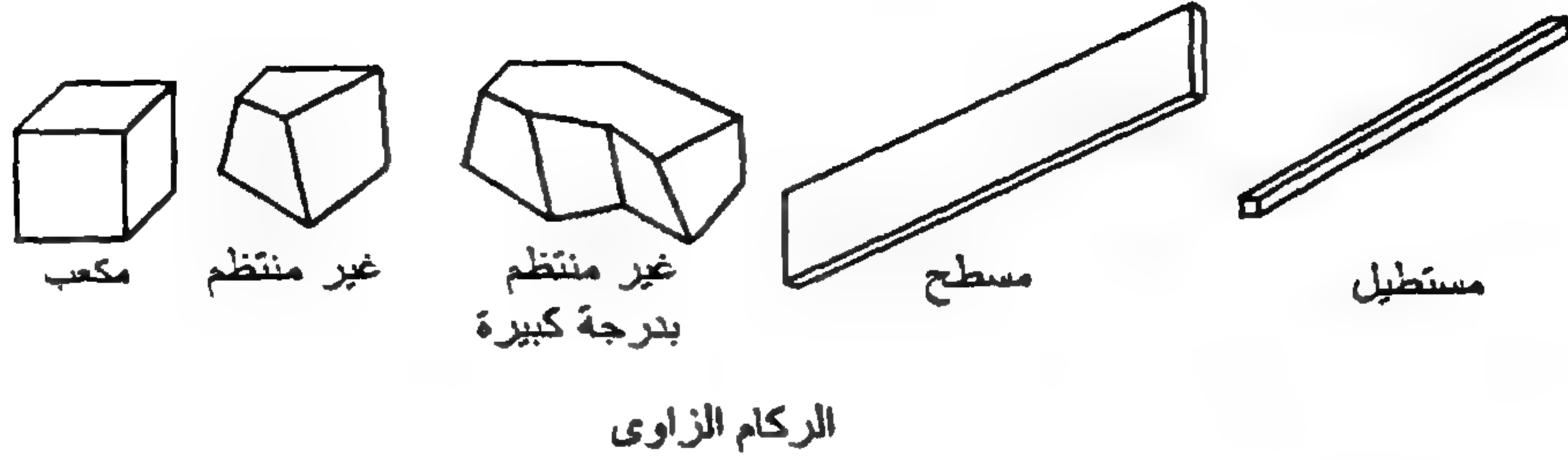
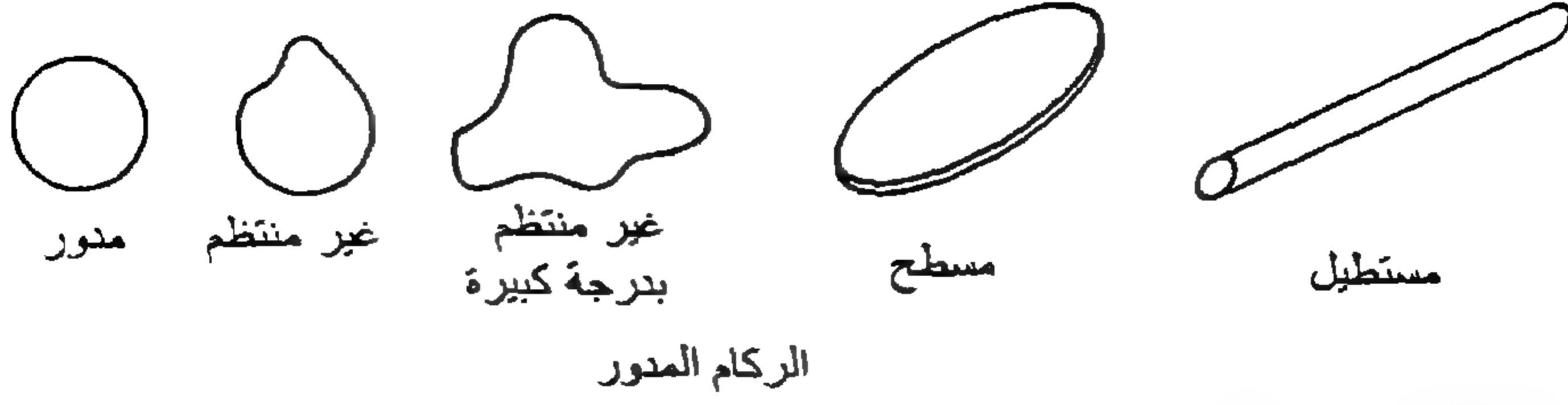
يلاحظ أن الركام قد يأخذ شكل حبيباته عدة أشكال. وهو غالباً إما أن يكون دائرى (الركام الطبيعى)، أو زاوى (كسر الأحجار). وشكل (1-1) يحتوى على الأشكال المتوقعة فى الموقع. وعموماً فالشكل الدائرى ومشتقاته يعطى خرسانة أسهل تشغيلاً من الشكل الزاوى. وعموماً فإن الركام الذى يتم توريده يحتوى على حبيبات مدوره وغير منتظمه ومسطحه ومستطيله ، وكلما قلت نسبة الركام المسطح والمستطيل تحسن جودة الركام .

#### 3- التقسيم بناء على وحدة وزن الركام (According to Unit Weight):

حيث يقسم الركام لركام خفيف (وحدة وزنه أقل من 1.12 جم/سم<sup>3</sup>)، وركام عادى (وحدة وزنه أكبر من 1.50 وأقل من 1.75 جم/سم<sup>3</sup>)، وركام ثقيل (وحدة وزنه أكبر من 2.8 جم/سم<sup>3</sup>).

#### 4- التقسيم بناء على الملمس (Texture):

ينقسم الركام الى مزجج (Glassy) مثل الصوان، ناعم (Smooth) مثل الرمل والزلط، محبيب (Granular) مثل الحجر الرملى، خشن (Rough) مثل الحجر الجيرى، بللورى (Crystalline) مثل الجرانيت، مسامى (Honey Comb) مثل الليكا.



شكل (1-1) الأشكال المتوقعة للركام

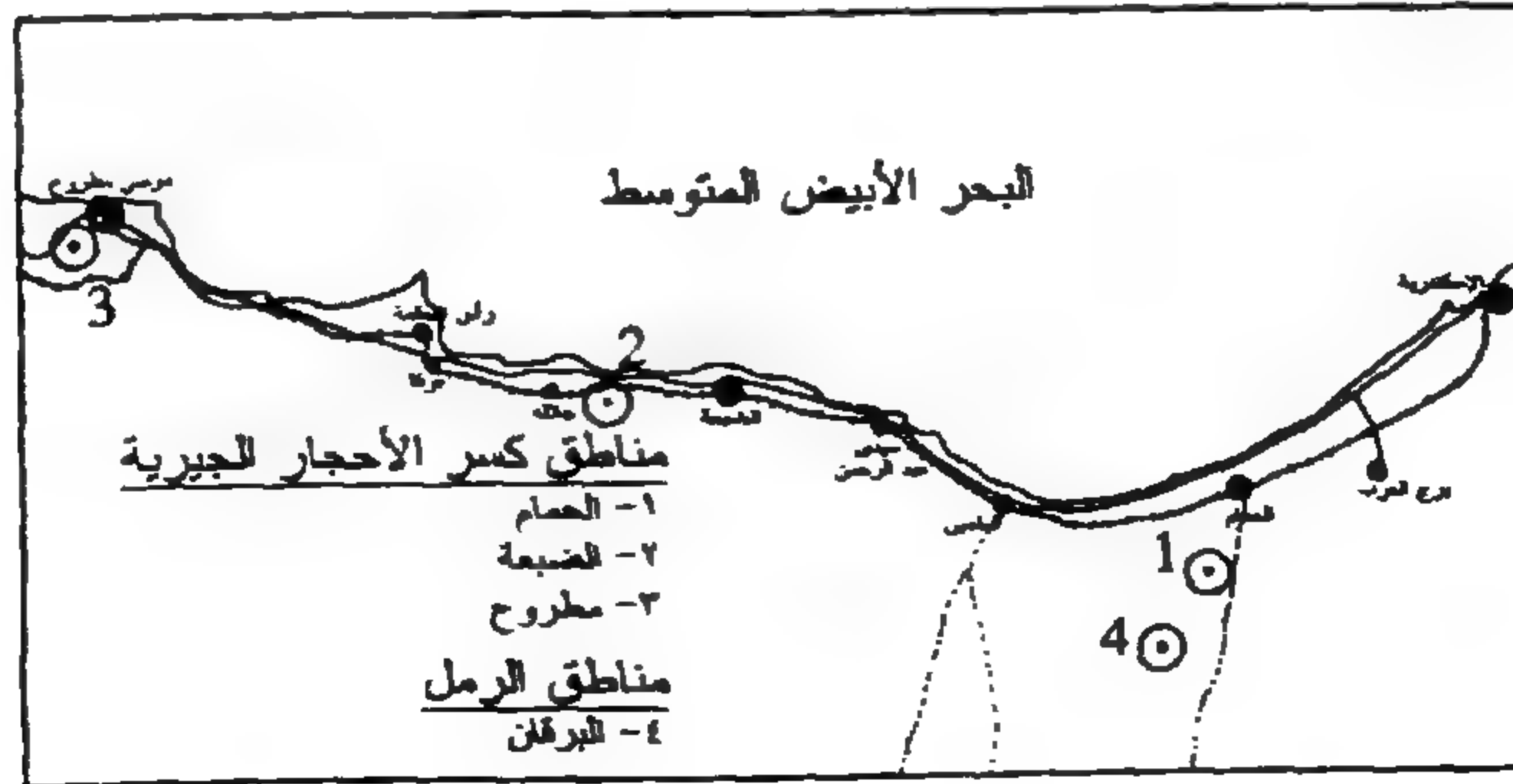
### 5- التقسيم بناء على مقياس الحبيبة (Particle Size):

يقسم إلى ركام كبير (Coarse Aggregate)، تكون مقياس حبيباته أكبر من 4.75 مم مثل الزلط وكسر الأحجار، وركام صغير (Fine Aggregate) وهو الذى مقياس حبيباته أقل من 4.75 مم مثل الرمل، والركام الشامل (All-in Aggregate) وهو خليط من الركام الكبير والصغير مثل خليط من الزلط والرمل.

### 3-1 المحاجر والكسارات (Quarries and Crushers):

شكل (2-1) & (3-1) يوضحان محاجر بعض أنواع الركام فى مصر سواءً للساحل الشمالى أو لباقى مصر. وتوجد عدة محاجر أخرى للدولوميت والبازلت. ولإنتاج الركام من الأحجار تستخدم الكسارات والتى يوجد منها عدة أنواع نلخصها فيما يلى:

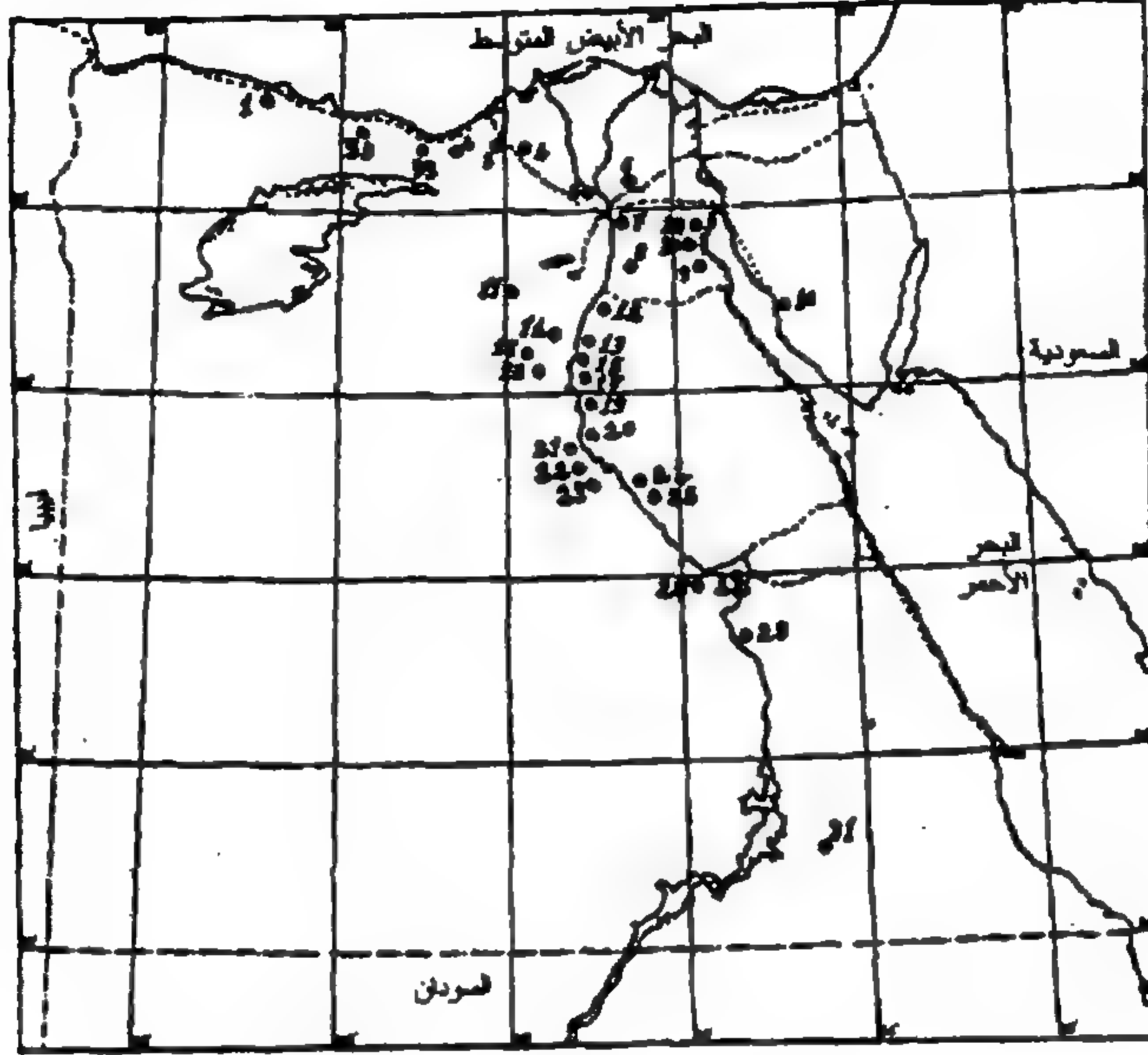
- \* الكسارات الفكّية (Jaw Crushers): ومنها مزدوجة الذراع ومفردة الذراع ذات الضغط لأعلى ومفردة الذراع ذات الضغط لأسفل. وشكل (4-1) يوضح كسارة فكّية مفردة الذراع ذات الضغط لأعلى.



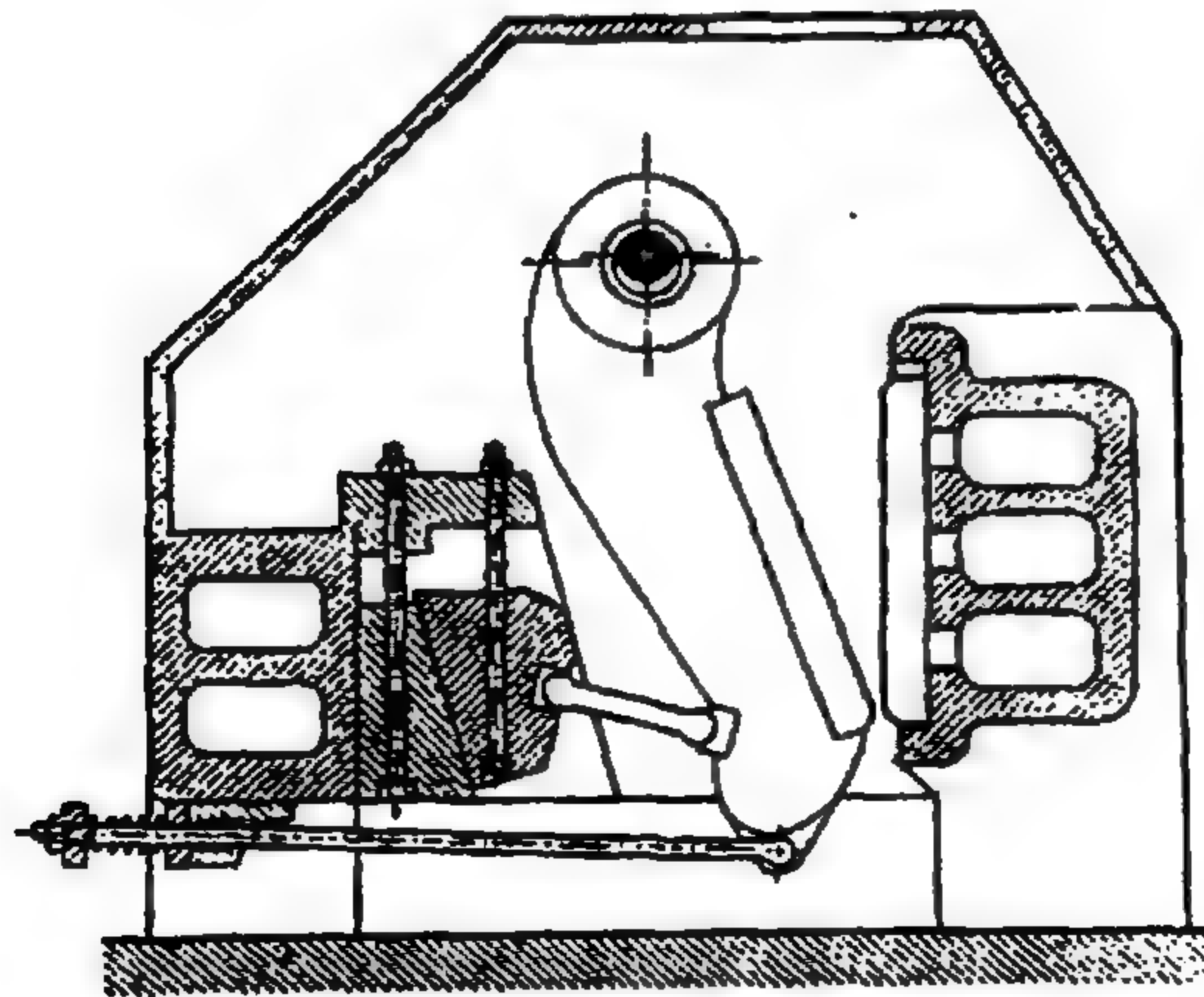
شكل (2-1) يوضح خريطة لمحاجر الساحل الشمالى



- |                |               |               |
|----------------|---------------|---------------|
| 1- مرسى مطروح  | 12- بنى مويق  | 23- بنى غالب  |
| 2- الحمام      | 13- شرق الفشن | 24- الخوالد   |
| 3- مريوط       | 14- غرب الفشن | 25- حمامية    |
| 4- علم المركب  | 15- مزيت أمير | 26- جالنه     |
| 5- أبو روث     | 16- البهيسة   | 27- أبو النور |
| 6- حمران القول | 17- بنى خالد  | 28- القملونة  |
| 7- المقطم      | 18- شوشة      | 29- حشلة      |
| 8- الصف        | 19- بنى حسن   | 30- أدبية     |
| 9- المسخنة     | 20- العطارنة  | 31- حلاى      |
| 10- أبو زينة   | 21- خشة       | 32- الضبعة    |
| 11- المساهيط   | 22- بنى عدى   | 33- الطمين    |

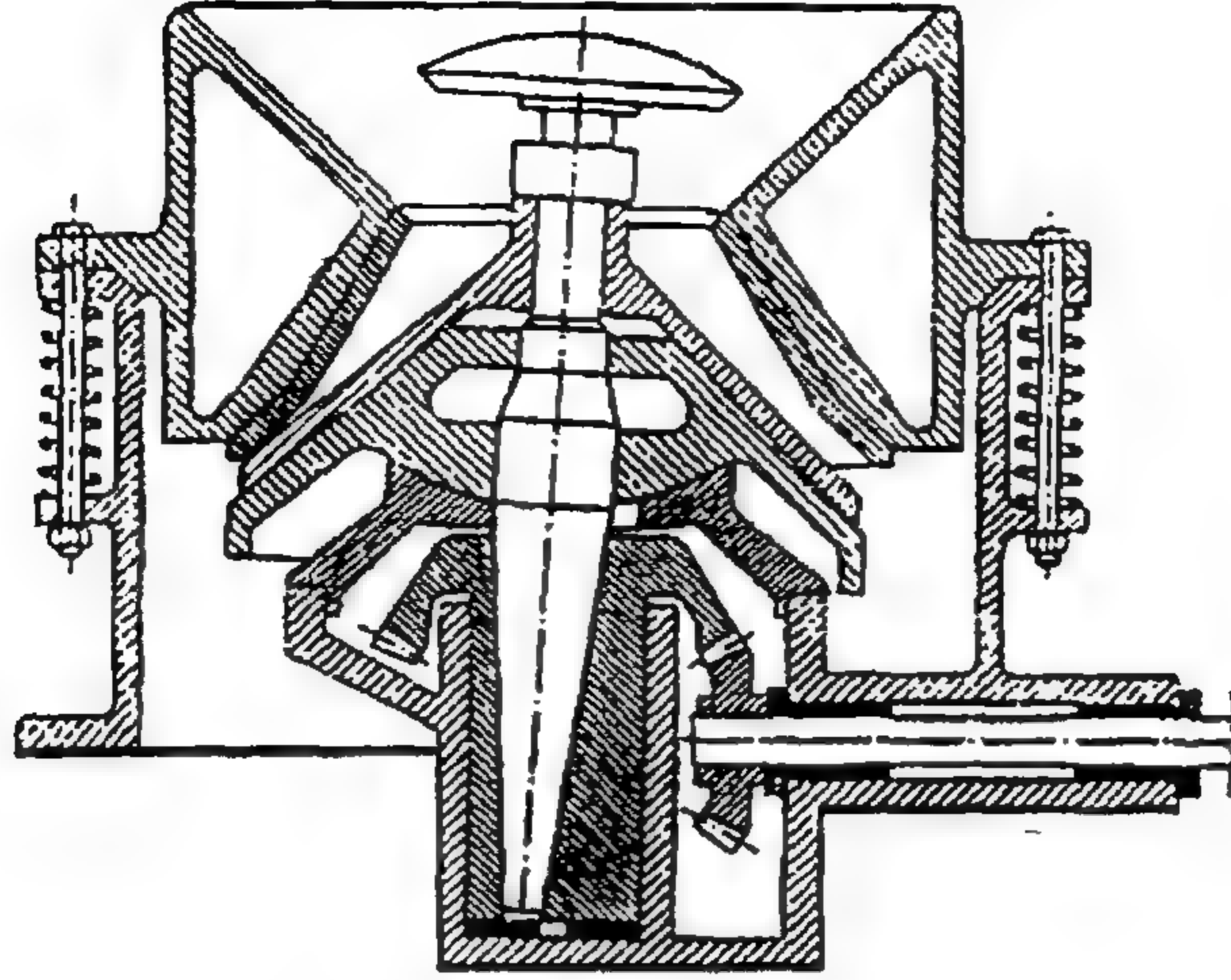


شكل (1-3) يوضح خريطة لمواقع كسر الحجر الجيري في مصر



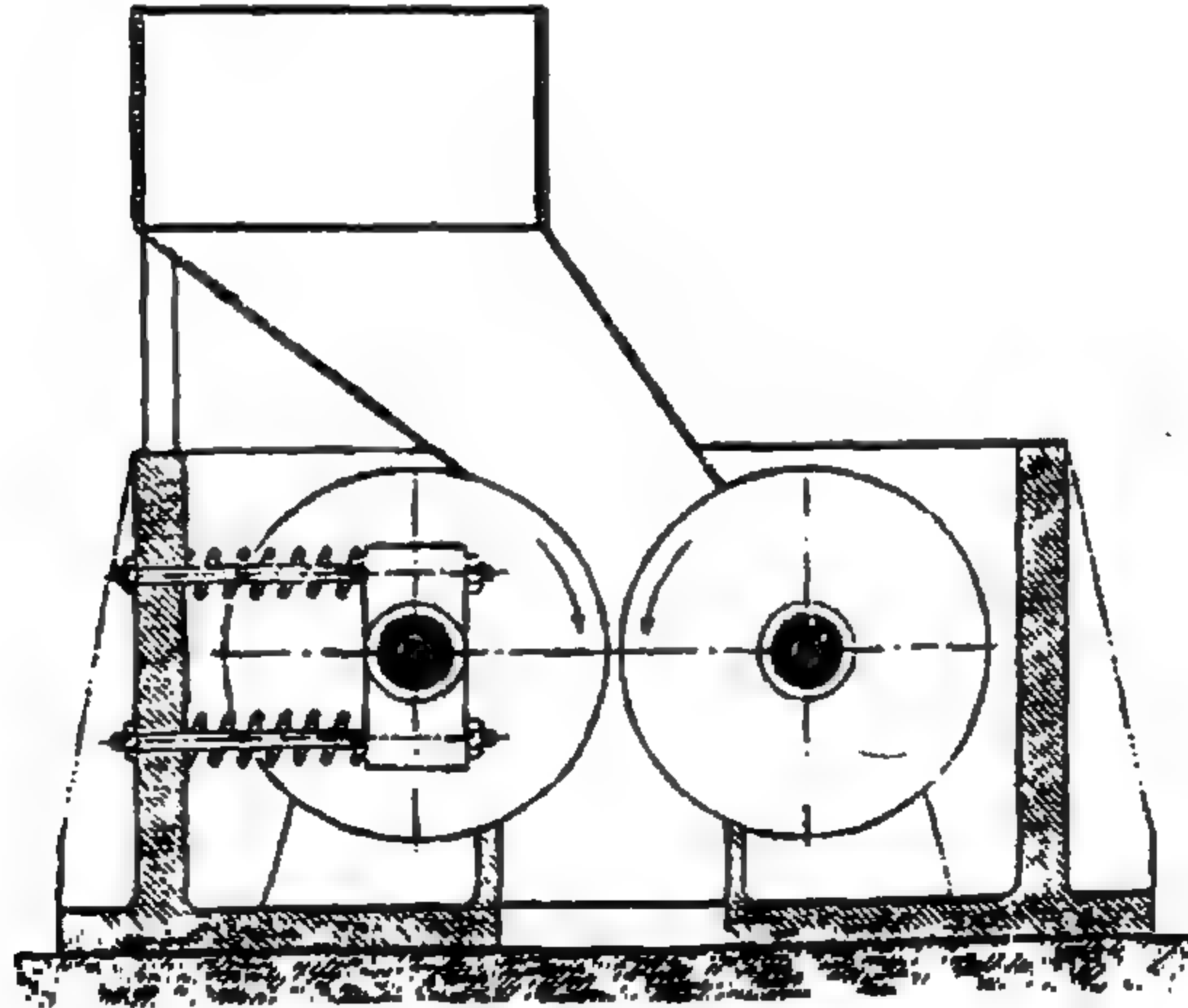
شكل (1-4) كسرة فكية مفردة الزراع

- الكسارة المخروطية أو الدوارة (Cone or Gyrator Crusher): حيث يتم تكسير الركام بين الرأس المخروطي أو الدائري و السطح المقعر المقابل. وشكل (5-1) يوضح مثال لتلك الكسارة.



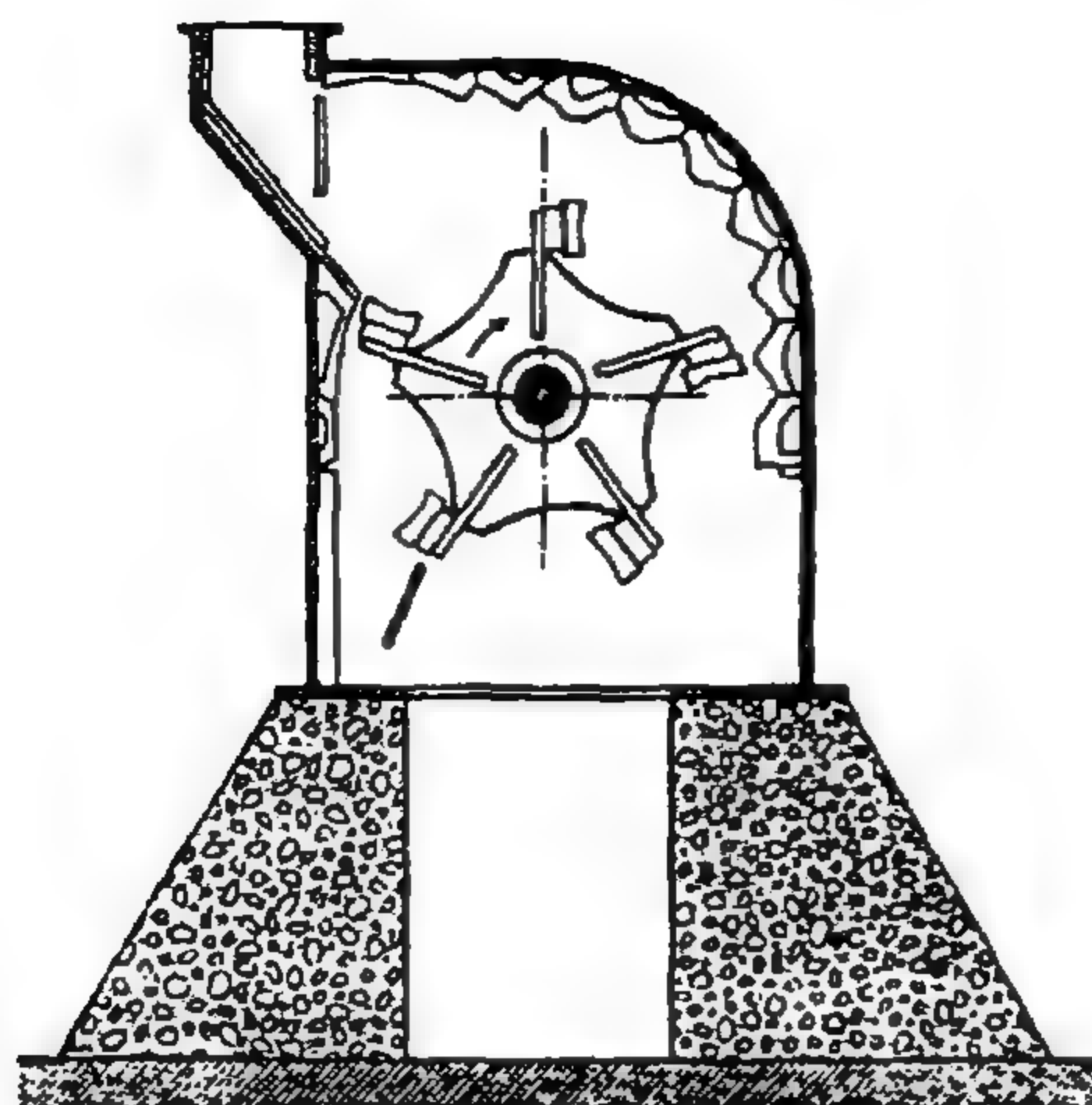
شكل (5-1) الكسارة المخروطية أو الدوارة

- الكسارة الاسطوانية الدوارة (Roll Crusher): وهي إما اسطوانة دوارة لتكسير الركام المحصور بلوح ثابت، أو تكسير الركام بدوران اسطوانتين عكس بعضهما مع ترك مسافة صغيرة بينهما لدخول الركام. وشكل (6-1) يوضح مثال لتلك الكسارة.

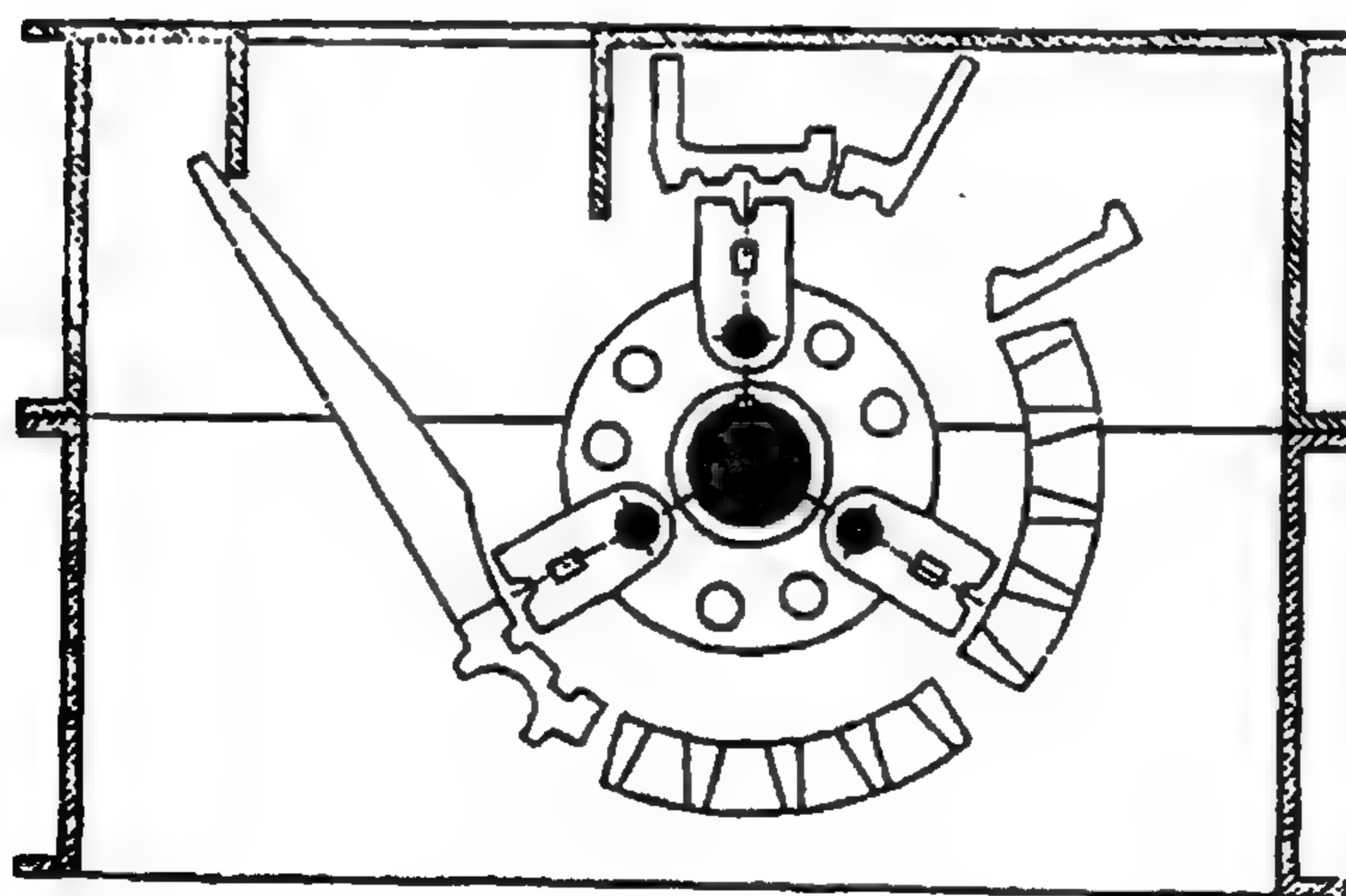


شكل (6-1) الكسارة الاسطوانية الدوارة

- الكسارات ذات المطرقة (Hammer crusher): ويوجد منها مطرقة ثابتة (Fixed Hammer)، ومطرقة متاروجة (Swing hammer). حيث يتم تكسير الركام بتعريضه للصدم بالمطرقة. والشكلان (7-1) & (8-1) يوضحان الكسارتين السابقتين على الترتيب.



شكل (7-1) الكسارة ذات المطرقة الثابتة



شكل (8-1) الكسارة ذات المطرقة المتاروجة

ومن خلال الخبرة المكتسبة من المواقع، لوحظ أن الكسارات المخروطية تنتج حبيبات ركام أقل جودة من الكسارات الأخرى من حيث شكل الركام المكسر. أما الكسارات ذات المطرقة فتعطي أفضل أشكال للركام المكسر عند مقارنتها بباقي الكسارات.

## 1-4 تدرج الركام (Grading of Aggregate):

### 1-4-1 التعريف و المناخل:

هي الخاصية التي تعبر عن تواجد المقاسات المختلفة من الركام، بحيث تتداخل الحبيبات ذات المقاسات الصغيرة داخل الحبيبات ذات المقاسات الكبيرة. ويتم الحكم عليها من خلال مناخل ذات مقاسات قياسية لكل من الركام الكبير والركام الصغير. ومقاسات المناخل القياسية طبقاً للـ ASTM للركام الكبير هي  $16^3$ ،  $8^3$ ،  $0.53$ ،  $4^3$ ،  $1.00$ ،  $1.25$ ،  $1.50$  بوصة. وتوجد أيضاً مناخل أخرى. أما مقاسات الركام الكبير للكوند المصري والـ B.S. هي  $16^3$ ،  $8^3$ ،  $0.50$ ،  $4^3$ ،  $1.00$ ،  $1.50$ ،  $2.00$  بوصة. وتوجد مناخل أخرى مساعدة بين تلك المناخل. أما بالنسبة للرمل، فنظراً لصغر مقاس الحبيبة، فيسمى المنخل بعدد الفتحات الموجودة في البوصة الطولية، وذلك لتسهيل التعامل مع المناخل في المعامل. والمناخل القياسية للرمل سنذكرها في ما يلي بذكر رقم المنخل وبين قوسين قطر الحبيبة:

#### • مناخل ASTM:

رقم 4 (4.75 مم)، 8 (2.36 مم)، 16 (1.18 ميكرومتر)، 30 (600 ميكرومتر)، 50 (300 ميكرومتر)، 100 (150 ميكرومتر).

#### • مناخل المواصفات المصرية والبريطانية:

$16^3$ ، 7 (2.36 مم)، 14 (1.18 مم)، 25 (600 ميكرومتر)، 52 (300 ميكرومتر)، 100 (150 ميكرومتر).

## 1-4-2 اختبار التدرج الحبيبي (اختبار التحليل المنخلي):

خطوات الاختبار المذكورة في نهاية الباب. ويتم وضع الركام أعلى المناخل ثم يتم النخل إما يدوياً أو ميكانيكياً بواسطة هزاز، ويحدد الوزن المحجوز (Retained) على كل منخل، ثم تحسب النسبة المئوية للمحجوز الكلي، وهو عبارة عن % لوزن الركام المحجوز لكل المناخل ذات المقاس الأكبر من مقاس المنخل + % للمحجوز على المنخل، وهي تعني النسبة المئوية لكل الركام ذي المقاس الأكبر من أو يساوي هذا المقاس. وكمثال إذا حسبت النسبة للمحجوز الكلي 60% لمنخل ( $4^3$  بوصة)، فهذا يعني أن 60% من الركام مقاسه أكبر من ( $4^3$  بوصة). وإذا كانت تلك النسبة صفر في المائة، فهذا يعني أنه لا يوجد ركام مقاسه أكبر من ( $4^3$  بوصة). يتم حساب النسبة المئوية للمار، وهي لمنخل معين = 100 - النسبة المئوية للمحجوز الكلي لهذا المنخل. وجدول (1-1) يحتوى على مثال لنتيجة اختبار تدرج حبيبي لرمل معين. وجدول (2-1) يحتوى على تدرج حبيبي لركام كبير.

جدول (1-1) حسابات اختبار تدرج حبيبي لرمل

رقم المنخل	الوزن المحجوز (جم)	% للمحجوز	% للمحجوز الكلي	% للمار
4	6	2.14	2.14	98
7	45	16.00	18.14	28
14	40	14.30	32.44	68
25	69	24.64	57.08	43
52	110	39.30	96.38	4
100	5	1.80	98.80	1
الإثناء	5	1.80		
وزن العينة	280			

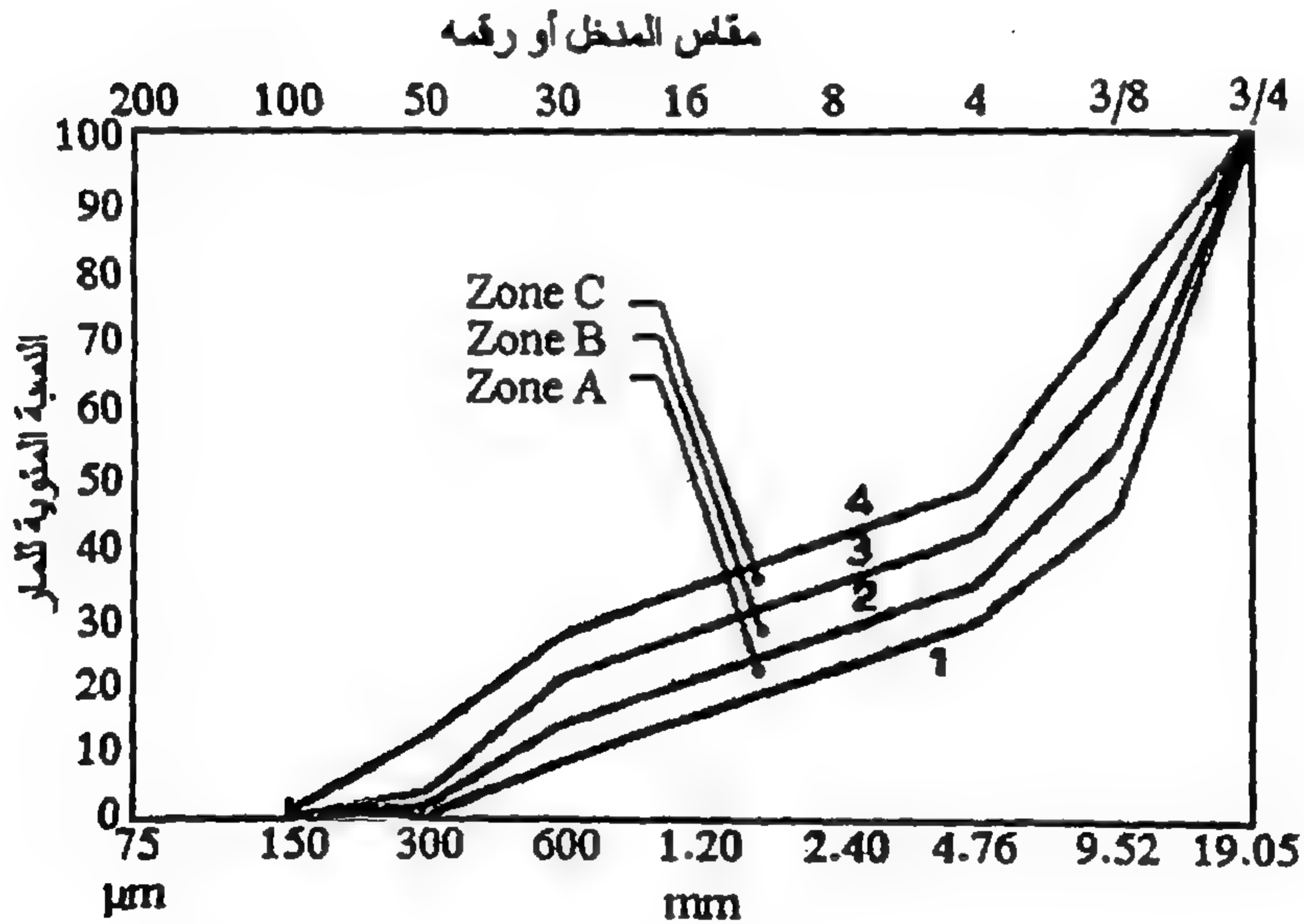
• يفضل تقريب الكسور لعدد صحيح



جدول (1-2) مثال لحسابات تدرج حبيبي لزلط

مقاس منخل (بوصة)	المحجوز (جم)	% للمحجوز	% للمحجوز الكلى	% للمار
1.50	صفر	صفر	صفر	صفر
1.00	400	4	4	96
0.75	3200	32	36	64
0.50	4000	40	76	24
8/3	1300	13	89	11
16/3	1000	10	99	1
الإثناء	100	1	—	—

وللزلط المذكور فى جدول (1-2) نجد أن نسبة المار من منخل  $2\frac{1}{2}$  بوصة = 24%. وهذا يعنى أن الزلط المورد نسبة الحبيبات التى مقاسها أقل من  $2\frac{1}{2}$  بوصة فيه تمثل 24% من وزن الركام، بينما نسبة الحبيبات الأكبر من  $2\frac{1}{2}$  = 76%. ويمكن رسم منحنى لنتائج اختبار التحليل المنخلى كما فى شكل (1-9).



شكل (1-9) مثال لتدرج الركام و حدود BS

### 3-4-1 المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (Maximum Aggregate Size) ومعلومات عامة:

يستخدم المقاس الاعتبارى الأكبر للتعبير عن مقاس الحبيبات الكبيرة العامة فى الركام الكبير. ويعرف بأنه مقاس أصغر فتحة منخل تسمح بمرور 95% على الأقل من الركام. وتوجد بعض المواصفات قد تسمح بأن تصل هذه النسبة إلى 90% فى حالة الركام الكبير ذى المقاس الصغير. فعندما يذكر أحد أنه قد تم توريد زلط مقاسه 40 مم، فهذا يعنى أن 95% من هذا الزلط مقاسه أقل من 40 مم، وأنه غير مناسب بالطبع لصب كمره عرضها 100 مم،

والمسافة بين أسياخ صلب التسليح 15 مم، لأن المسافة بين أسياخ تسليح الكمرات ستكون أقل من مقاس الركاب وبذلك لا يمكن صب الخرسانة. وعموماً فإن أغلب المواصفات والكودات توصي بأن يتم اختيار الركاب الكبير بحيث يكون مقاسه الاعتباري الأكبر أقل من أو يساوي  $1/4$  أو أقل، للعضو الإنشائي المصبوب، وبحيث لا يزيد عن  $(3^2 - 4^3)$  المسافة الخالصة من أسياخ صائب التسليح حتى نضمن صب جيد للخرسانة.

جدول (1-3) % للمار لعدة أنواع من الزلط

مقاس المنخل	1.50"	1.00"	0.75"	0.50"	8\3"	16\3"
زلط أ	100	100	100	95	40	5
زلط ب	95	80	60	30	20	1
زلط ج	98	95	50	30	10	1.5

جدول (1-3) يحتوى على النسبة المئوية للمار لثلاثة أنواع مختلفة من الزلط ومنها يتضح أن المقاس الاعتباري الأكبر للزلط أ، ب، ج هي 0.50 و 1.50 و 1.00 بوصة على الترتيب.

بناءً على ما سبق يتضح أنه كلما قل المقاس الاعتباري الأكبر للركاب الكبير، تقل أبعاد الحبيبات وتزيد مساحته السطحية لوحدة الوزن .

ويجب أن نذكر باختصار أن مقاومة الخرسانة للضغط تتحسن كلما قل محتوى الماء المطلوب لإنتاج 1 م<sup>3</sup> خرسانة عند محتوى أسمنت معين؛ أي تقل المقاومة مع زيادة نسبة الماء للأسمنت. وعلى ذلك فإن أي عامل يزيد من ماء الخلط، فإنه سيقلل المقاومة. ويجب على المهندس العلم بأن الماء المضاف له وظيفتين رئيسيتين؛ الأولى هي أن جزء من الماء يتحد مع الأسمنت لكي يعطى للخرسانة صلابتها ومقاومتها، والثانية أن الماء هو الذي يعطى الخرسانة القابلية للصب (التشغيلية) بدون ظهور عيوب في العضو الخرساني. ومن المفضل أن يغلف ماء الخلط جميع المساحة السطحية لمكونات الخرسانة. وعلى ذلك فإن زيادة المساحة السطحية للركاب الكبير أو الرمل تتطلب ماء زائد مما يقلل المقاومة.

و يؤثر المقاس الاعتباري الأكبر على مقاومة الخرسانة، ويتوقف ذلك على محتوى الأسمنت في الخلطة ومستوى المقاومة المطلوبة. إن استخدام ركاب كبير ذو مقاس 2" و 3" في الخرسانة الفقيرة بالأسمنت (الخرسانة العادية) يحسن من مقاومة الضغط إذا ما قورن باستخدام الركاب الكبير ذو المقاسات الصغيرة مع تثبيت محتوى الأسمنت. للخرسانة المسلحة فإنه لا يفضل زيادة مقاس الركاب عن 40 مم، لأن المقاومة المطلوبة تكون متوسطة أو كبيرة، وزيادة المقاس تؤدي إلى تركيز الإجهادات، كما أنه كلما زاد مقاس الحبيبة تكون مقاومة ضغط الحبيبة أقل، نظراً لزيادة احتمال وجود مناطق ضعف في تلك الحبيبة.

وللأسباب السابقة، إذا أراد المهندس الحصول على مقاومة ضغط للخرسانة أكبر من 700 كجم/سم<sup>2</sup>، فعليه اللجوء إلى ركاب كبير في حدود أو أقل من 2".

#### 4-4-1 معايير نعومة الرمل (Fineness Modulus):

يستخدم هذا المعيار في أغلب دول العالم للتعريف بنوعية الرمل المورد للموقع. وكلما زاد هذا المعيار، فإنه يعطى دلالة على أن الرمل خشن. فعندما نذكر أنه تم توريد رملين معايير نعومتها 2.0، 3.0، فمعنى ذلك أن الرمل الأول أخشن من الرمل الثاني.

وعموماً فإن معايير النعومة = مجموع النسب المئوية التجميعية للمناخل القياسية للرمل

وهو يعبر عن القطر المتوسط لحبيبات الرمل تقريباً بالمليمتر.  
وجداول (1-4) يوضح مثال لحساب معايير نعومة الرمل.

جدول (1-1) حساب معايير نعومة الرمل

مقاس المنخل	4	7	14	25	52	100	مجموع
% للمار	100	90	50	25	13	5	
% للمحجوز الكلى	صفر	10	50	75	87	95	317

$$* \text{معايير نعومة الرمل} = 100 \times 317 = 3.17$$

وكلما قل معايير نعومة الرمل، يزيد محتوى ماء الخرسانة لتحقيق درجة تشغيلية معينة للخرسانة، فتقل مقاومة الخرسانة لنفس محتوى الأسمنت. ولذلك يُنصح باستخدام الرمل الخشن في الخرسانة.

#### 1-4-5 المواصفات القياسية للتدرج الحبيبي:

تضع المواصفات القياسية للدولة الحدود التي يجب أن يحققها الرمل أو الركام الكبير. وتوضع حدود الرمل في المواصفات المصرية و B.S.882:1973 كدالة من 4 مناطق؛ المنطقة الأولى للرمل عالي الخشونة، والمنطقة الثانية للخشن، والمنطقة الثالثة للرمل المتوسط الخشونة والناعم، والمنطقة الرابعة للرمل الناعم جداً (المناطق 1، 2، 3، 4). وتعطى حدود الركام الكبير كدالة من المقاس الاعتباري الأكبر. جدول (1-5) يوضح حدود متطلبات المواصفات العالمية والمصرية للرمل.

جدول (1-5) يحتوى على % للمار للرمل لمتطلبات المواصفات المختلفة

منخل ASTM	ASTM % للمار	منخل المصرية B.S.	% للمار للمنطقة (مصرى و B.S.)			
رقم			1	2	3	4
813	100	9.5 مم	100	100	100	100
1613	100-90	4.75 مم	100-95	100-90	100-90	100-95
8	100-80	2.36 مم	95-60	100-75	100-85	100-95
16	85-50	1.18 مم	70-30	90-55	100-75	100-90
30	60-25	600 ميكروم	34-15	59-35	79-60	100-80
50	30-10	300 ميكروم	20-5	30-8	40-12	50-15
100	10-2	100 ميكروم	10-0	10-0	10-0	10-0

\* للركام الصغير الناتج من كسر الحد الجبرى تسمح المواصفات بزيادة هذه النسبة إلى 20%.

ويرى المؤلف أن المنطقة (4) تحتوى على رمل ناعم جداً يمكن استخدامه في الخرسانة العادية فقط وليس في الخرسانة المسلحة. ويجب أن يحقق الركام تلك الحدود بأن يقع داخل الحدود أو عليها.

وسنتناول في ما يلي متطلبات ASTM والمواصفات المصرية والبريطانية للركام الكبير:

- حدود ASTM C33-78 للركام الكبير موضحة بجدول (1-6)

جدول رقم (1-6) حدود ASTM C33-78 للركام الكبير

مقاس اعتباري أكبر بوصة	2	1.5	1	4/3	2/1	8/3	16/3	8	16
من 2 إلى منخل رقم 4	100-95	—	70-35	—	30-10	—	5-0	—	—
من 1.5 إلى منخل رقم 4	100	100-95	—	70-35	—	30-10	5-0	—	—
من 1 إلى منخل رقم 4	—	100	100-95	—	60-25	—	10-0	5-0	—
من 4/3 إلى منخل رقم 4	—	—	100	100-90	—	55-20	10-0	5-0	—
من 2/1 إلى منخل رقم 4	—	—	—	100	100-90	70-40	15-0	5-0	—
من 8/3 إلى منخل رقم 8	—	—	—	—	100	100-85	30-10	10-0	5-0

• حدود المواصفات المصرية للركام الكبير:

جدول (1-7) يحتوى على حدود المواصفات المصرية والـ B.S.882:1973.

جدول رقم (1-7) حدود القبول والرفض للركام الكبير

النسبة المئوية المارة بالوزن							مقاس فتحة المنخل (مم)
ركام بمقاس مفرد (مم)				ركام متدرج (مم)			
10	14	20	40	5-10	5-20	5 - 40	
—	—	—	100	—	—	100	50.00
—	—	100	100-85	—	100	100-90	37.50
—	100	100-85	25-0	100	100-90	70-35	20.00
—	100-85	—	—	100-90	—	—	14.00
100	50-0	25-0	5-0	85-50	60-30	40-10	10.00
50-100	10-0	5-0	—	10-0	10-0	5-0	5.00
30-0	—	—	—	—	—	—	2.36

وتتص المواصفات المصرية على حدود للركام الشامل (خليط من الركام الكبير والركام الصغير)، كما فى جدول (1-8).

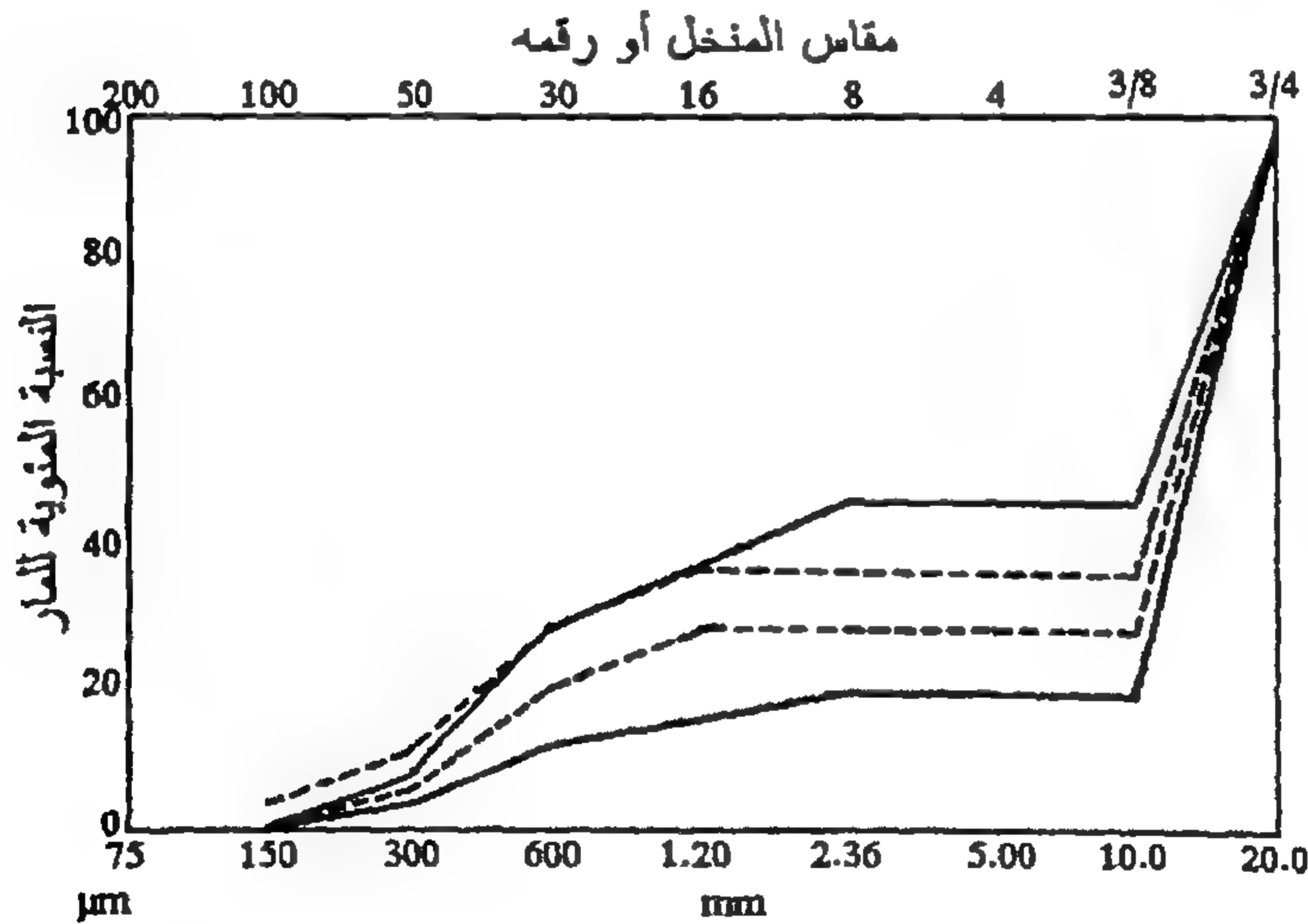


جدول رقم (1-8) حدود القبول والرفض للركام الشامل

النسبة المئوية للمر من المنخل			مقاس فتحة المنخل (مم)
المقاس الإعتبارى 10مم	المقاس الإعتبارى 20مم	المقاس الإعتبارى 40مم	
—	—	100	50.00
—	100	100-95	37.50
—	100-95	80-45	20.00
100	—	—	14.00
100-95	—	—	10.00
65-30	55-35	50-25	5.00
50-20	—	—	2.36
40-15	—	—	1.18
30-10	35-10	30-8	0.60
15-5	—	—	0.30
8-0	8-0	8-0	0.15

#### 1-4-6 حدوث فجوة فى التدرج (Gap-graded Aggregate):

شكل (1-10) يوضح مثال لمنحنى تدرج ركام شامل، ويتضح منه غياب الحبيبات من مقاس 10.00 مم إلى مقاس 2.36 مم. وهذا يمثل عيب جوهري يجب التغلب عليه، كما سيأتى فى البنود اللاحقة بخلط نوعين أو أكثر من الركام.



شكل (1-10) مثال لركام ذو الفجوة فى التدرج

#### 1-4-7 خلط ركام كبير وركام صغير:

جدول (1-9) يحتوى على نتائج التحليل المنخلى لرمل وزلط تم توريدهما لأحد المواقع والمطلوب حساب التدرج لخليط من الزلط والرمل مخلوطان بنسبة وزنية قدرها 2 : 1.

جدول (1-9) نتائج التحليل المنخلي (% للمار)

المنخل	$2\text{mm}$	$4\text{mm}$	$8\text{mm}$	$16\text{mm}$	7	14	25	52	100
رمل (ص2)	100	70	30	2	—	—	—	—	—
رمل (ص1)	100	100	100	98	85	55	40	20	5
الحل الحسابي	100	79.8	52.8	34	28.3	18.3	13.3	6.6	1.56
الحل البياني	100	80	53	33	28	18	13	6	1.5

هناك طريقتين لحساب تدرج الركام الشامل:

• الطريقة الأولى وهي الطريقة الحسابية:

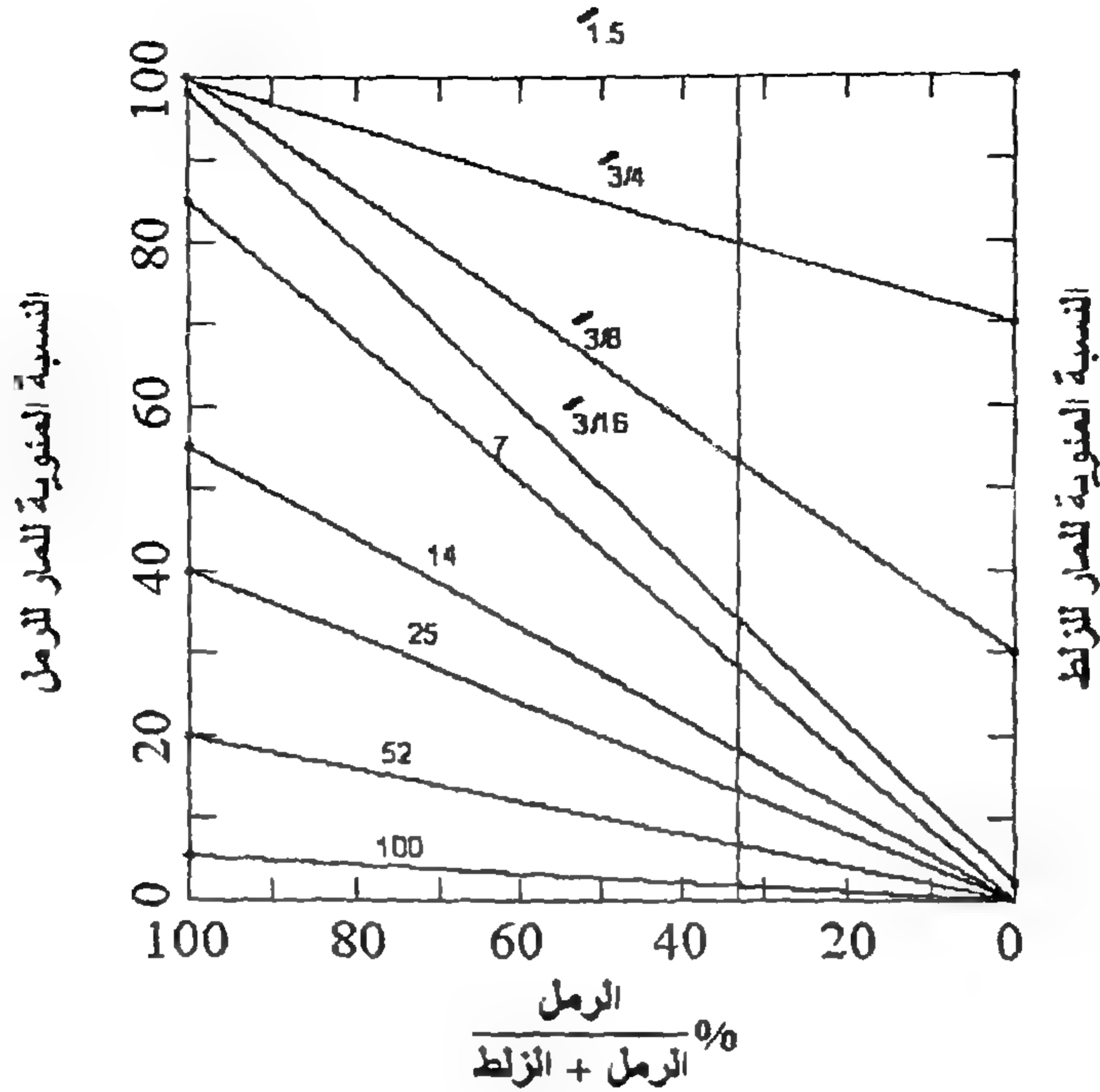
$$\begin{aligned} \% \text{ للمار من المنخل للركام الشامل} &= \% \text{ للمار من الرمل} \times \frac{\text{وزن الرمل}}{\text{وزن الركام الشامل}} \\ &+ \% \text{ للمار للرمل} \times \frac{\text{وزن الركام الشامل}}{\text{وزن الرمل}} \end{aligned}$$

$$\text{وكمثال؛ \% للمار من منخل } 8\text{mm} = 30 \times \frac{3}{2} + 100 \times \frac{1}{3} = 52.8 \%$$

• الطريقة الثانية وهي الطريقة البيانية:

وهذه الطريقة سوف تساعد المهندس كثيراً في ما بعد. وشكل (1-11) يوضح تلك الطريقة، والتي تُجمل في ما يلي:

- يتم رسم شبكة مربعات (10×10).
- محور س يمثل \% للرمل بالنسبة للركام الشامل  $= 100 \times \frac{\text{وزن الرمل}}{\text{وزن الرمل} + \text{وزن الركام الكبير}}$
- وتتراوح النسبة بين صفر و 100%.
- على محور ص1 يتم توقيع \% للمار من مناخل الرمل.
- على محور ص2 يتم توقيع \% للمار من مناخل الزلط.
- يتم توصيل \% للمار من منخل معين على ص1 بالنسبة للمار من نفس المنخل على محور ص2 هذا الخط المائل يمثل المحل الهندسي للنسبة المئوية للمار من هذا المنخل لأي خليط من الرمل والركام الكبير.
- وكمثال المحل الهندسي لمنحنى  $8\text{mm}$  هو خط يصل بين 30% على محور ص2 و 100% على محور ص1.
- يتم رسم خط رأسي على محور س عند نسبة الخلط المعطاه  $(100 \times \frac{1}{2+1}) = 33\%$ .
- بحسب قيم تقاطعات الخط الرأسي ص مع المناخل المختلفة لتمثل \% للمار للخليط ، و تُوقع في الجدول السابق.



شكل (11-1) الطريقة البيانية لحساب تدرج الركام الشامل

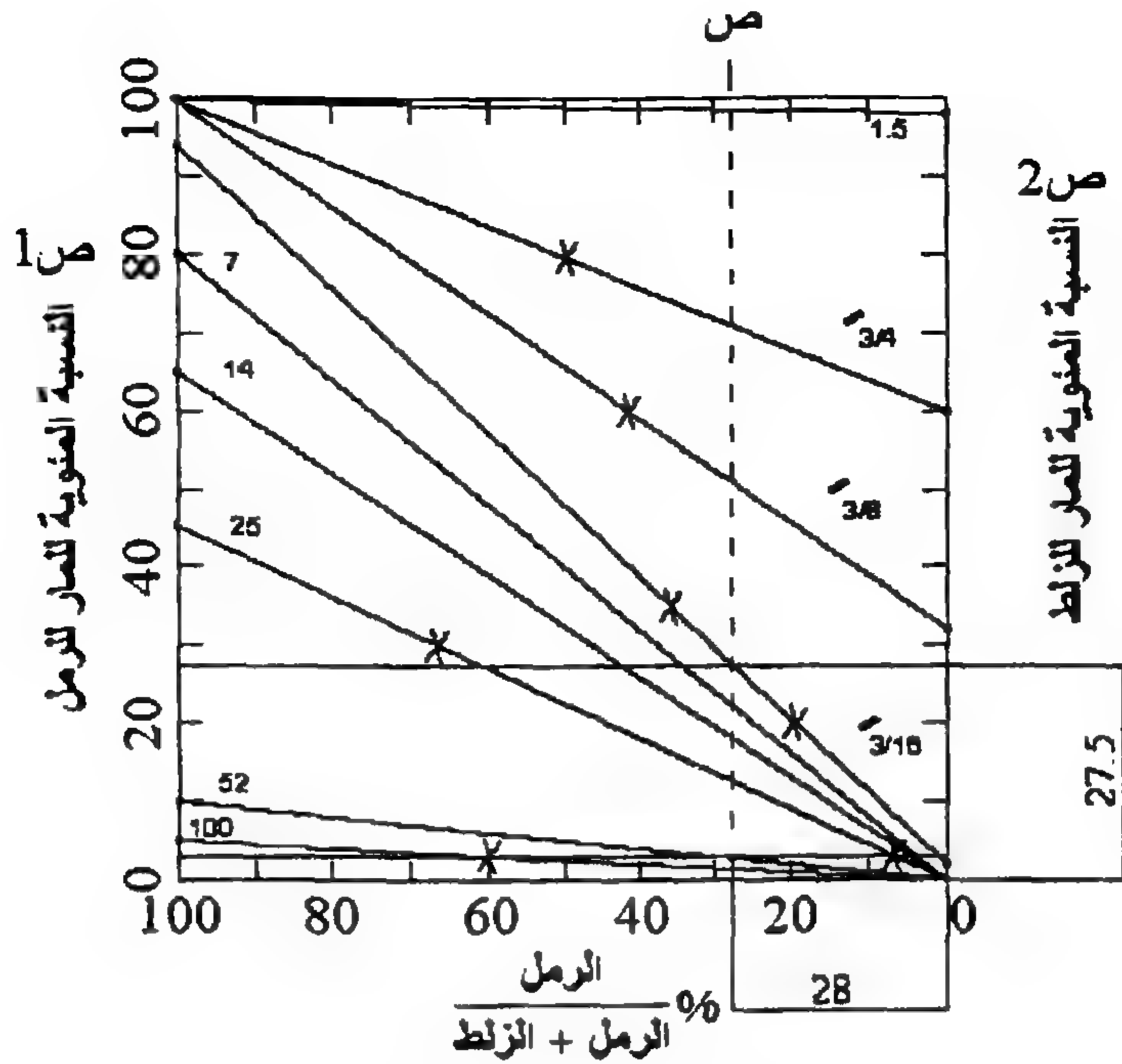
#### 8-4-1 تحديد نسبة خلط الرمل والركام الكبير للحصول على تدرج ركام شامل معلوم حدود تدرجه:

تستخدم هذه الطريقة لتحديد نسبة خلط ركام صغير إلى ركام كبير للحصول على تدرج يحقق حدود ركام شامل معلوم التدرج وهي نفس الطريقة التي يمكن بها تحديد نسبة خلط رمل ناعم مع رمل خشن للحصول على تدرج معلوم للرمل.

جدول (10-1) يمثل % للمار من رمل وزلط وركام شامل

المنخل	1.50	0.75	$8^{13}$	$16^{13}$	7	14	25	52	100
رمل ص 1	100	100	100	94	80	65	45	10	5
زلط ص 2	98	60	32	2					
الركام الشامل	100-95	80-40	60-30	35-20	—	—	30-3	—	3-0
خليط ص النهائي	98.5	69	50.7	27.5	22	18	12.5	3	1.5

- يتم رسم شبكة المربعات وتوقيع تدرج الرمل على محور ص 1 وتوقيع تدرج الزلط على محور ص 2، انظر شكل (12-1).



شكل (1-12) خلط ركام كبير و ركام صغير للحصول على تدرج معين

- ارسم محال المناخل المختلفة بتوصيل % للمار للمنخل المعين من ص 1 إلى ص 2.
- يتم توقيع حدود للركام الشامل على هذه المحال.
- حيث أن المنخل  $16^3$  هو المنخل الذي يفصل بين الرمل والزلط.
- فيتم رسم خط أفقى على بعد رأسى مقداره = القيمة المتوسطة للمار من منخل  $16^3$  = 27.5 %.
- يتقاطع الخط السابق مع المحال الهندسى لمنخل  $16^3$  فى نقطة، ويرسم من عندها خط رأسى ص يمثل الاختيار الأول للخليط.
- نفحص هل هذا الخط ص داخل مناطق حدود التدرج للركام الشامل أم لا، ويمكن تحريك هذا الخط إلى الجهة التى تقلل التكلفة، فإذا كان الزلط أعلى من الرمل فإن الخط ص يجب أن يكون أقرب ما يمكن لمحور ص 1.
- يتم حساب النسبة المئوية للمار للخليط ص عن طريق تقاطعه مع المحال الهندسية للمناخل المختلفة للركام كما بجدول (1-10).
- من الشكل يتضح أن:
  - نسبة الرمل: الركام = 28 %
  - نسبة الرمل: الزلط = 1 : 2.75 .



# 1-4-9 خلط ركام كبير مقاسه كبير مع آخر مقاسه صغير للحصول على خليط زلط معلوم التدرج:

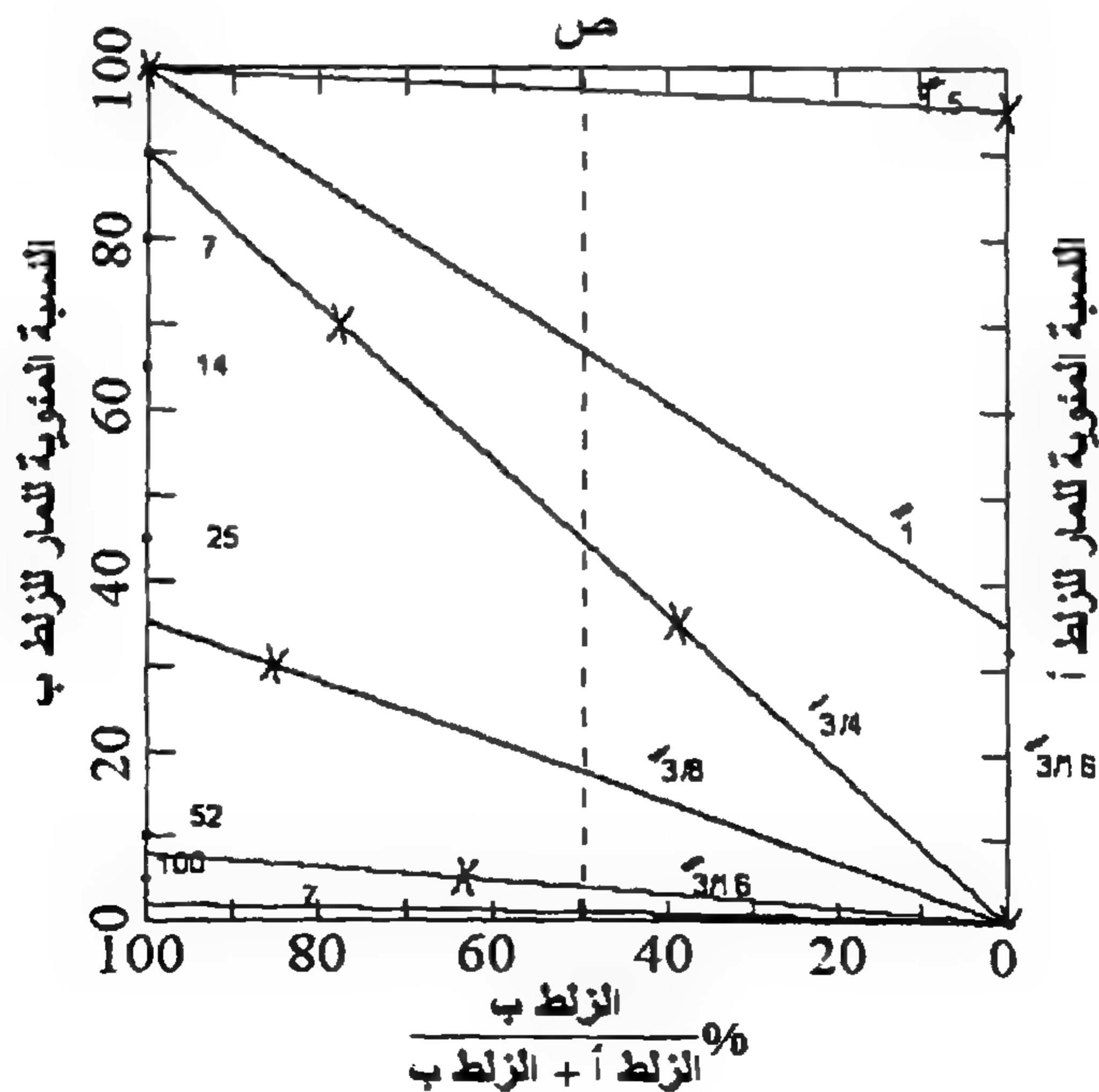
كثيراً ما يصعب الحصول على ركام كبير متدرج فى الطبيعة، وفى تلك الحالة يتم خلط ركام مقاسه كبير (مثلاً 1") مع ركام مقاسه صغير (مثلاً 8/3") وذلك للحصول على تدرج معلوم، والمثال التالى يوضح كيف يتم ذلك:

ركام كبير (أ) مقاسه 1.5" تدرجه معلوم يراد خلطه مع ركام (ب) مقاسه 1" للحصول على تدرج خليط معلوم معطى بجدول (1-11).

جدول (1-11) % للمار لنوعين زلط وحدود المواصفات لركام خليط مرغوب فيه

مقاس المنخل	1.50"	1"	0.75"	8/3"	16/3"	7"
زلط أ	95	35	2			
زلط ب	100	100	90	35	8	2
خليط معلوم	100-95		7-35	30-10	5-0	—
الركام ص	97.5	67	45	17.5	4	1

— ترسم شبكة المربعات ويوقع الركام ب ، أ كما بشكل (1-13) وتوقع المحال الهندسية للمناخل وعليها نوقع حدود المواصفات للخليط.

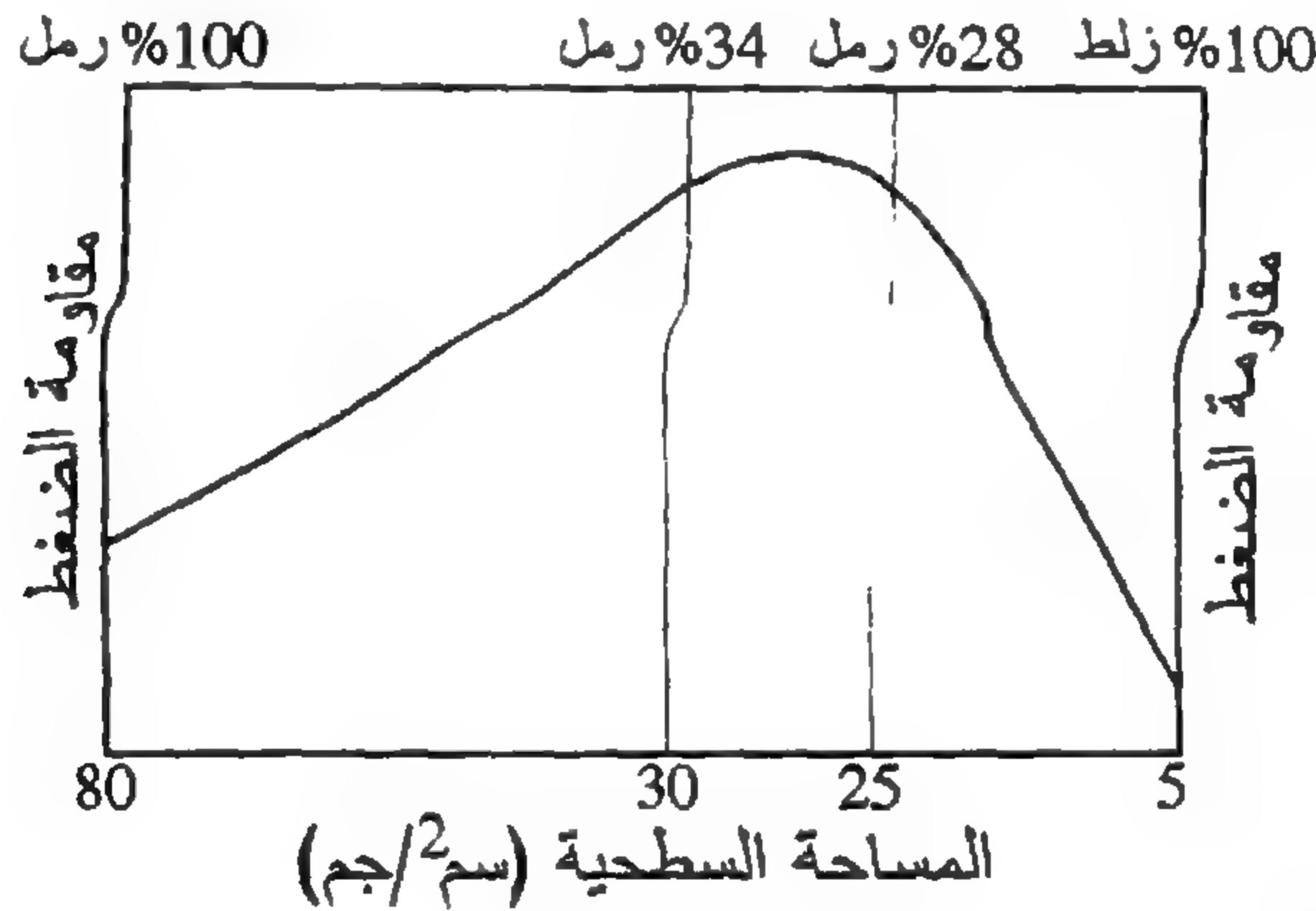


شكل (1-13) خلط ركام كبير أ مع ركام كبير ب

— يتم اختيار الخليط ص الذي يحقق المواصفات وذلك من الرسم ويمكن تحريكه ليوائم أقل تكلفة مع محاولة عدم استخدام خط على الحدود نظراً لتغير خواص الركام في الطبيعة. تحدد النسبة من الشكل وهي % للزلط ب للزلط الكلي تقريباً = 50 % . وبالمثل يمكن خلط رملين للحصول على رمل معين.

#### 10-4-1 الركام الشامل وتأثير المساحة السطحية ( All-in Aggregate and ) : (Effect of Surface Area)

يلاحظ أن المساحة السطحية للركام الكبير صغير جداً (2- 5 سم<sup>2</sup> /جم)، بينما تكون المساحة السطحية للرمل كبيرة (تتراوح بين 60 - 100 سم<sup>2</sup> /جم). ولا يمكن استخدام الزلط والأسمنت والماء لإنتاج الخرسانة لأن المساحة السطحية للركام ستكون صغيرة وكمية عجينة الأسمنت ستكون كبيرة جداً وسوف تتعرض للشروخ نتيجة الانكماش وستكون تركيز الإجهادات على العجينة الأسمنتية عالية، لذلك فإن مقاومة الضغط لتلك الخرسانة تكون ضعيفة، وليس من المفضل كذلك استخدام خرسانة رمل فقط لأن المساحة السطحية تكون كبيرة وستزيد كمية المياه كثيراً وبالتالي ستكون المقاومة قليلة، ولذلك يستخدم العالم كله خليط من الركام الكبير والركام الصغير بنسبة تتراوح بين 1 : 1 في الخرسانة ذاتية الدمك وحتى نسبة تصل لـ 3 زلط : 1 رمل تقريباً في الخرسانة التقليدية ، وشكل (1-14) عبارة عن علاقة تخطيطية توضح تأثير المساحة السطحية للركام على مقاومة الضغط.



شكل (1-14) رسم تخطيطي يوضح تأثير المساحة السطحية للركام على مقاومة الضغط

ويلاحظ أن أفضل مقاومة تكون مناظرة لمساحة سطحية متراوحة بين 25 - 30 سم<sup>2</sup> /جم للركام الشامل وذلك يناظر نسبة رمل للركام في حدود 30%.

#### 5-1 رطوبة الركام (Moisture of Aggregate):

لرطوبة الركام صور متعددة سواء في الموقع حيث قد يتعرض الركام لارتفاع درجة الحرارة في الأجواء الحارة أو قد يتعرض للأمطار أو الرش بالماء لتخفيض درجة حرارته أو قد يجفف في الفرن عند إجراء اختبارات عليه، وعموماً فإنه يمكن تفصيل حالات رطوبة الركام في ما يلي:

(1) حالة الجفاف بالفرن (Oven Dry):

وهي تمثل حالة عملية حيث يوضع الركام في فرن درجة حرارته قياسية (105°م) حتى يثبت وزنه ويستخدم في حسابات % المئوية للامتصاص ووحدة الوزن والوزن النوعي.

(2) حالة الجفاف في الهواء (Air Dry):

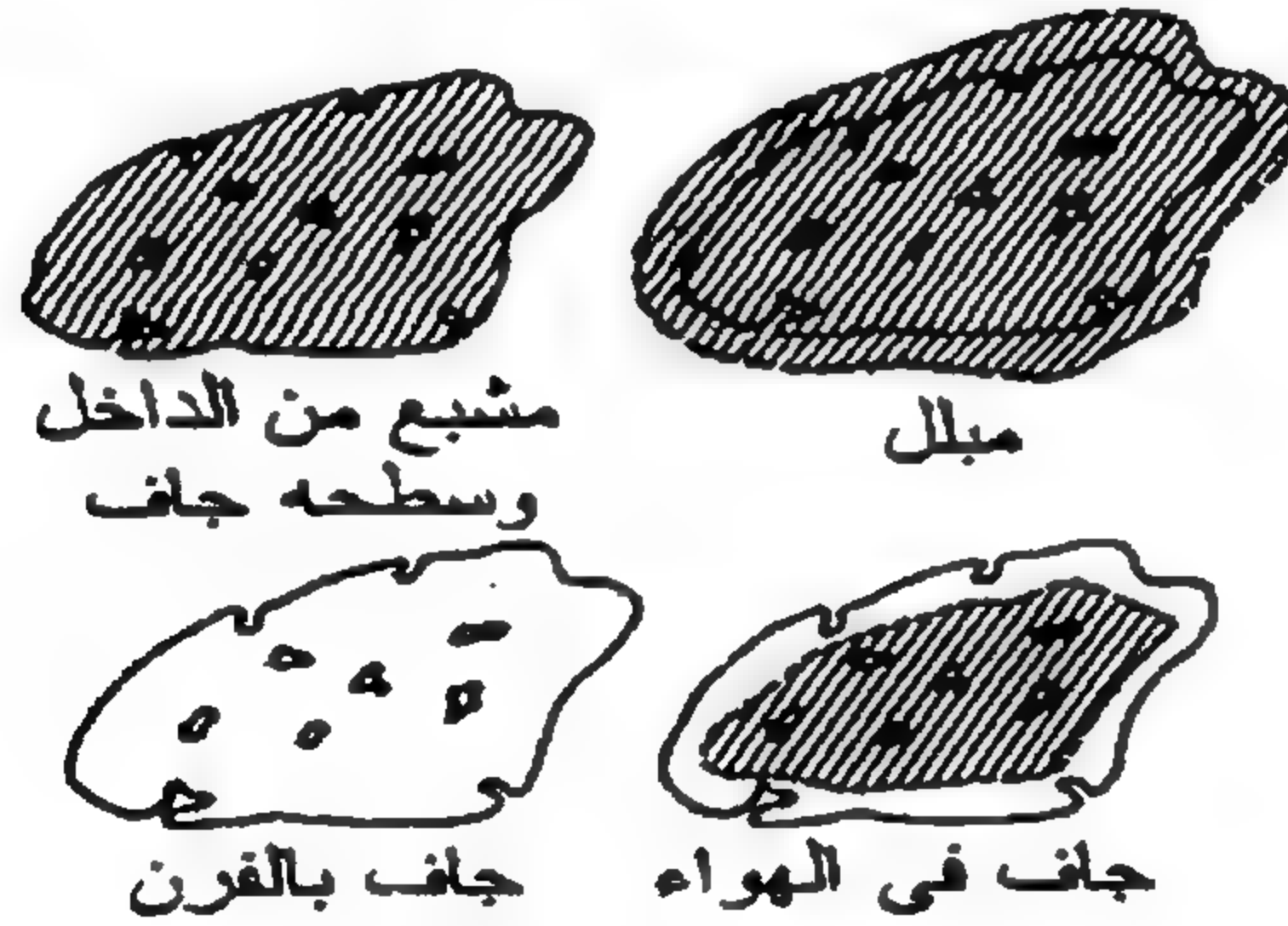
وهي حالة في الموقع حيث يكون سطح الركام جاف ظاهرياً ولكن الحبيبات بها نسبة من الماء.

(3) مشبع من الداخل وسطحه جاف (Saturated Surface Dry):

وهي حالة عملية نصل إليها عن طريق وضع الركام في ماء لمدة معينة (24 ساعة) ثم يرفع درجة حرارة الماء لتصل للغليان في مدة معينة، ويترك الركام في الماء المغلي لفترة قياسية (حوالي 5 ساعات)، ثم يترك ليبرد في الماء، ويمسح سطحه الخارجى بمنديل من الورق لإزالة الماء السطحي، وبذلك تكون الحبيبة فراغات الداخلية مملوءة بالماء وسطحها جاف، ويستخدم في تحديد الامتصاص الكامل والوزن النوعي.

(4) مبلل (Wet):

وفيه تكون الفراغات بها ماء والسطح عليه ماء، انظر شكل (1-15) الذي يوضح حالات الرطوبة للركام.



شكل (1-15) حالات الرطوبة للركام

#### 6-1 الوزن الحجمي والنوعي للركام والنسبة المئوية للامتصاص:

(Unit Weight, Specific Gravity and Absorption):

يعرف الوزن الحجمي بأنه وزن حجم معين من الركام الجاف (بما فيه من الفراغات

الداخلية في الحبيبات) =  $\frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}}$  ووحداته جم/سم<sup>3</sup> أو طن/م<sup>3</sup>، ويستخدم في تصميم

الخلطة الخرسانية في طريقة معهد الخرسانة الأمريكي.

ويعرف الوزن النوعي بأنه =

كثافة المادة الصلبة للركام

كثافة الماء في نفس درجة الحرارة

وكثافة المادة الصلبة للركام =

وزن الركام جاف

حجم حبيبات الركام - حجم الفراغات الداخلية في حبيبات الركام

الحجم الصلب

وامتصاص الركام له عدة صور ومنها:

- الامتصاص الطبيعي:

حيث توضع الحبيبات الجافة في الماء لمدة 24 ساعة وتحسب النسبة المئوية للماء الممتص بالنسبة لوزن الركام خلال تلك الفترة.

- الامتصاص الكامل:

وهو النسبة المئوية لامتصاص الركام بعد تركه لمدة 24 ساعة في الماء ثم وضعه في ماء يغلي لمدة 5 ساعات.

وكلما اقترب الامتصاص الطبيعي من الامتصاص الكامل يكون ذلك دليل على أن الركام فراغاته متصلة، ويعبر عن ذلك بمعامل التشبع (Saturation Coefficient).

$$\text{معامل التشبع} = \frac{\% \text{ لامتصاص الطبيعي}}{\% \text{ لامتصاص الكامل}} \text{ بحيث لا يزيد عن } 1.0$$

وفي نهاية الباب سنذكر طرق تعيين الوزن الحجمي والنوعي والامتصاص للركام.

## 7-1 مقاومة الركام (Aggregate Strength):

من البديهي عامة أنه كلما استخدم المهندس ركام مقاومة حبيباته في الضغط عالية فإنه سيحصل على مقاومة ضغط للخرسانة عالية، وحيث أنه من الصعب تحديد مقاومة حبيبة قطرها يتراوح من 163 إلى 1.5" فإنه ينصح باستخدام اختبار التهشيم للدلالة على مقاومة الركام الكبير (انظر ملحق الاختبارات في نهاية الباب)، حيث يوضع الركام في إناء ويعرض الركام لحمل ضغط 40 طن فتتكسر الحبيبات الضعيفة وتتفتت، ونحدد نسبة المواد المتفتتة في الركام (المواد التي تمر على منخل 2.36 مم) بالنسبة لوزن الركام وهذا ما يعرف بمعامل التهشيم (Crushing Value).

$$\text{معامل التهشيم} = \frac{\text{وزن الركام المار من منخل 2.36}}{100 \times \text{وزن الركام الجاف}}$$

وكلما زاد معامل التهشيم دل ذلك على نقص مقاومة الركام للضغط، وينص الكود المصري للخرسانة على أن لا يزيد معامل التهشيم عن 25% للخرسانة التي تتعرض أسطحها للتآكل و 30% للخرسانة التي لا تتعرض أسطحها للتآكل.

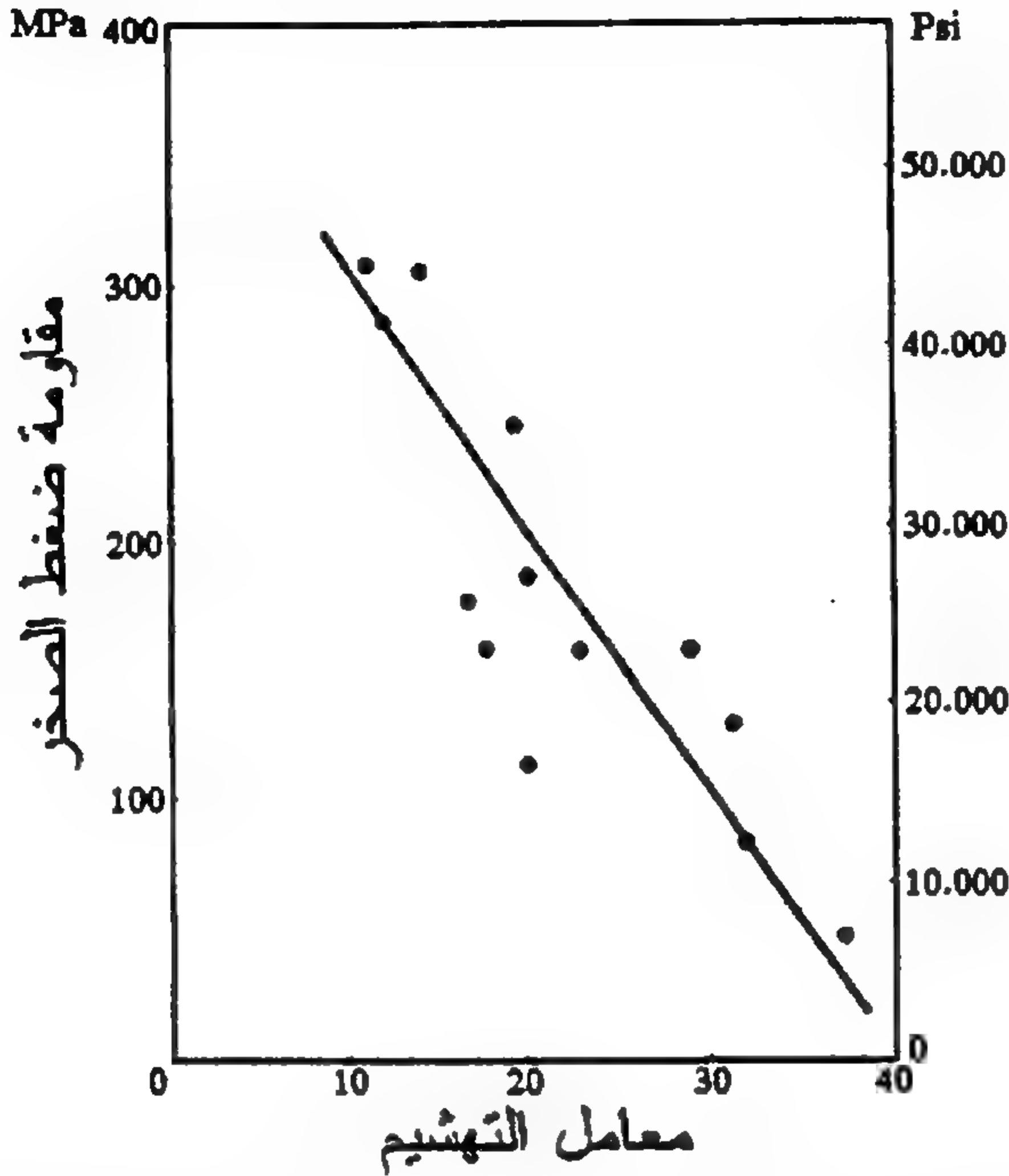
وشكل (1-16) يوضح العلاقة بين مقاومة ضغط اسطوانة مجهزة من الصخر الذي جهز منه الركام ومعامل التهشيم، والذي يوضح أنه كلما زاد معامل التهشيم فعامة تقل مقاومة الضغط. ولذلك لا يصلح استخدام الأحجار الجيرية الضعيفة (البضاء) أو الأحجار الطباشيرية كركام للخرسانة، وجدول (1-12) يوضح مقاومة الضغط لبعض أنواع الصخور.

جدول (1-12) مقاومة الضغط لبعض أنواع الصخور

نوع الصخر	مقاومة الضغط ن.مم <sup>2</sup>		
	المتوسطة	الدنيا	العظمى
جرانيت	181	114	257
حجر جيري	159	93	241
حجر رملي	131	44	240
رخام	117	51	244



ومن الجدول السابق يتضح أنه يمكن استخدام كسر الجرانيت في انتاج خرسانة عالية المقاومة. وأن الحجر الرملى والرخام أحياناً تكون مقاومتها في الضغط ضعيفة، ولذلك لا ينصح المؤلف باستخدام كسرها في الخرسانة إلا إذا أثبتت الاختبارات عكس ذلك، وفي بعض الدول العربية حيث تتواجد نوعيات ممتازة من الحجر الرملى ذات مقاومة عالية (حجر رملى جبرى)، فإنها تستخدمها كركام للخرسانة، والعبرة في ذلك إجراء اختبار التهشيم أو الصلادة الذى سينكر لاحقاً.



شكل (1-16) العلاقة بين معامل التهشيم ومقاومة الصخر الأصلي للركام

### 8-1 صلادة الركام (Hardness of Aggregate):

تتعرض الخرسانة لعوامل الاحتكاك والبرى الناتجة عن الأحمال المتحركة في حالة عدم وجود تغطية للخرسانة، وقد تتآكل الخرسانة نتيجة النحر بالمياه المتحركة، ولذلك يجب التأكد من أن الركام ذو صلادة جيدة (أى يقاوم حدوث التآكل).

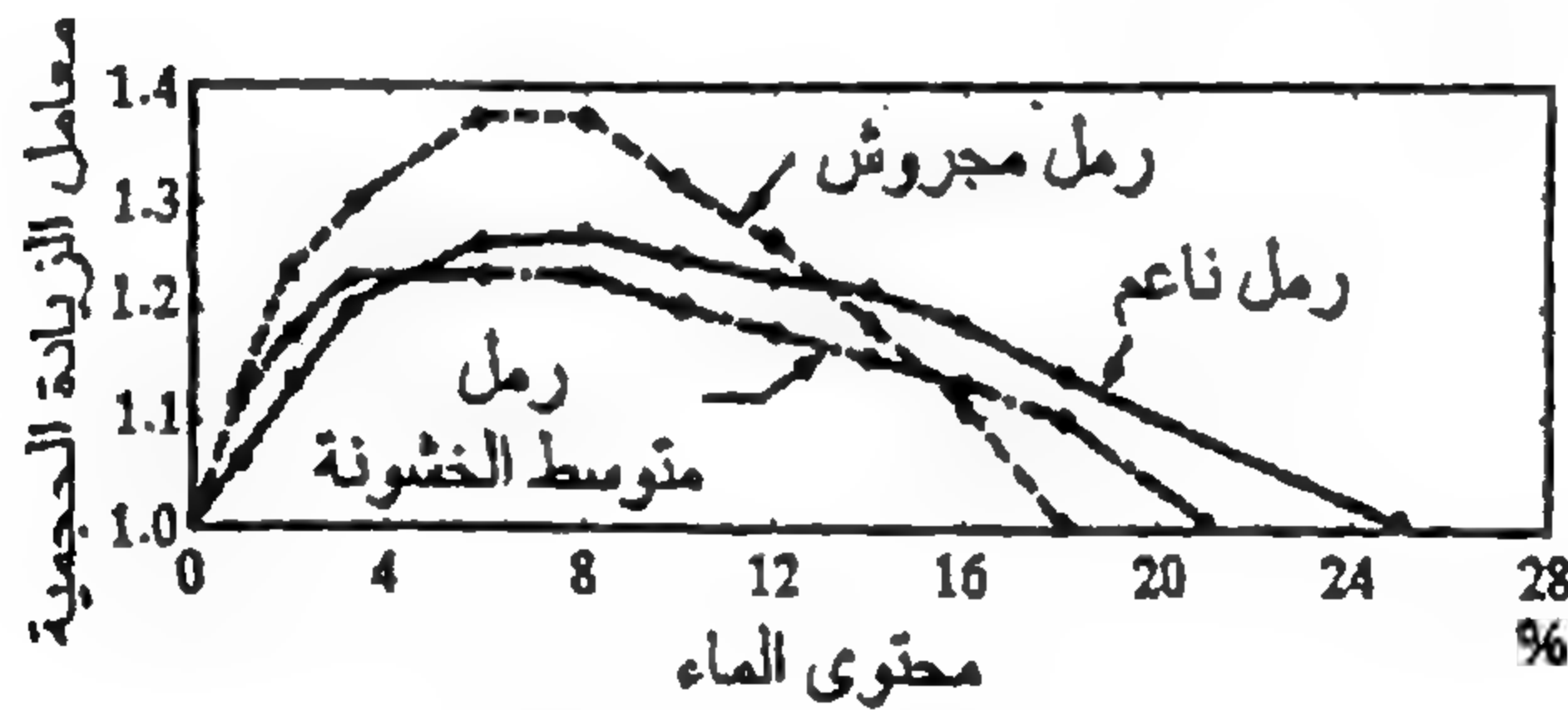
ويستخدم اختبار صلادة التآكل بالاحتكاك بطريقة لوس انجلس؛ والتي تعتمد على وضع ركام قياسي في حلة مغلقة مزودة بكرات من الصلب قياسية (قطر 48 مم)، وبعدد قياسي يعتمد على تدرج الركام المختبر (6-12 كرة)، ثم تعرض الحلة للدوران حتى 500 دورة لركام الخرسانة (في الاستخدامات الأخرى تصل إلى 1000 دورة)، ونتيجة الدوران يتصادم الركام مع كرات الصلب ومع نفسه ويحدث تفتت به، وكلما زادت نسبة المواد المتفتتة (المارة من منخل 1.70 مم)، دل ذلك على نقص صلادة الركام، وعموماً نستطيع القول بأنه غالباً كلما زادت صلادة الركام تتحسن مقاومة الضغط لحبيبات الركام (انظر ملحق الاختبارات)، وينص الكود المصرى على استخدام ركام معامل صلادته أقل من أو يساوى 30 % لكسر الأحجار و 20 % للزلط.

## 9-1 مقاومة الترابط للركام (Bond of Aggregate):

إن مقاومة الترابط بين الركام ومونة الأسمنت تؤثر على مقاومات الخرسانة المختلفة وخاصة مقاومة الانحناء (معايير الكسر)، وتعتمد المقاومة على نوع الركام وعلى خشونة السطح وعلى وجود مسام ووجود مواد طفلية أوطينية على سطح الركام، حيث كلما زادت الخشونة ووجود المسام ونقص الطفلة تتحسن مقاومة الترابط. والترابط أغلبه عبارة عن ترابط ميكانيكى ناتج من تلاحم الحبيبات بمونة الأسمنت ولكن تتحسن مقاومة الترابط بالنسبة لكسر الأحجار الجيرية وكسر الدولوميت نتيجة وجود ترابط كيميائى مع مونة الأسمنت. وكلما قلت مقاومة الترابط يحدث الكسر للخرسانة بظهور شروخ حول حبيبات الركام، أما فى حالة مقاومة الترابط العالية فإن الانهيار إما يحدث فى مونة الأسمنت فى الخرسانات ضعيفة و متوسطة المقاومة أو فى حبيبات الركام فى الخرسانة الخفيفة (خرسانة الليكا) وفى الخرسانة العالية المقاومة غالبا يحدث الشروخ نتيجة ضعف مقاومة الترابط أوفى الركام الكبير.

## 10-1 الزيادة الحجمية للرمل (Bulking of Sand):

لوحظ أن وجود رطوبة فى الرمل يؤثر على حجم الرمل ويتضح ذلك من شكل (1-17)، حيث أنه كلما زاد الماء الموجود فى الرمل يزيد الحجم حتى الوصول للمحتوى ماء يتراوح بين 6 و 10%، والذي يحقق أكبر زيادة حجمية، وإذا زاد محتوى الماء عن ذلك يزيد وزن الماء ويتغلب على قوى الشد السطحي، فيبدأ الحجم فى النقصان، ويلاحظ أن الرمل الناعم عامة يحقق زيادة حجمية أكبر من الرمل الخشن، والرمل الناتج عن تكسير الأحجار يسطى زيادة حجمية أكبر من الرمل الطبيعي.



شكل (1-17) الزيادة الحجمية للرمل لنسب مختلفة من الرطوبة

ويجب أخذ تلك الظاهرة فى الاعتبار عند استلام شحنات الرمل، وكذلك عند خلط الخرسانة بالخلطات الحجمية الذى يضاف فيها محتوى الرمل بالحجم. ويمكن تحديد تلك الزيادة عمليا فى المعمل بإضافة نسبة مختلفة لمحتوى الماء، وتقاس الزيادة الحجمية المناظرة.

## 11-1 الركام المفطوح (Flaky Aggregate):

يحتوى الركام خاصة الركام الناتج من التكسير على حبيبات مفطحة (Flaky)، وتعرف الحبيبات المفطحة بأنها الحبيبات التى تكون النسبة بين سمك الحبيبات المتوسطة ومقاس

الحبيبة المتوسط أقل من 0.60، ويحدد الركام المفطوح عن طريق فصل الركام باستخدام مناخل خاصة وإمرار الركام بين حوامل المسافة بينها أقل من 0.60 من مقاس الركام. ويعبر عن كمية هذا النوع فى الركام بمعامل التفلطح (Flakiness Index).

$$\text{معامل التفلطح} = \frac{\text{وزن الركام المفطوح}}{\text{وزن الركام}} \times 100$$

وينص الكود المصرى للخرسانة على أن لا يزيد هذا المعامل عن 25%، وتسمح المواصفات البريطانية بنسب أعلى. وهذا الركام يؤثر على مقاومة الخرسانة لأنه يزيد من تركيز إجهادات الضغط عند التحميل ويقلل من النسبة المثوية للفراغات ويقلل التشغيلية للخرسانة.

### 12-1 الركام المستطيل (Elongated Aggregate):

وهو الركام الذى تزيد النسبة بين طول الحبيبة ومقاس الحبيبة المتوسط عن 1.80، ويحدد بواسطة استخدام مجموعة مناخل قياسية فتحاتها النسبة بين طولها وعرضها أكبر من 1.80، ويعبر عن نسبة هذا الركام المستطيل بمعامل الاستطالة (العصوية) (Elongated Index).

$$\text{معامل الاستطالة} = \frac{\text{وزن الركام المستطيل}}{\text{وزن الركام}} \times 100$$

وكلما زاد معامل الاستطالة تقل مقاومة الضغط للخرسانة وتقل التشغيلية. وينص الكود المصرى للخرسانة على أن لا يزيد هذا المعامل عن 25%، وتسمح المواصفات البريطانية بنسب أعلى.

### 13-1 المسامية (Porosity):

تعبر المسامية عن الفراغات الموجودة بالركام، وإذا تواجدت بعض المسام على سطح حبيبات الركام فيكون لها تأثير مباشر على تحسين مقاومة الترابط، وداخلياً تنقسم المسام إلى فراغات شعيرية غير منفذة؛ نظراً لدقتها وعدم اتصالها، وإلى فراغات متصلة وكلما كانت نسبة الفراغات المتصلة كبيرة يقل تحمل الركام وتزيد قابليته لامتصاص الماء، والنسبة المثوية للمسام فى الجرانيت تتراوح بين صفر و 3.8%، بينما تتراوح بين صفر و 37.6% الحجر الجيرى، ونلاحظ أن الحجر الجيرى منه أنواع صلبة جداً وأنواع صلابتها ضعيفة مليئة بالمسام مثل الحجر الجيرى الطباشيرى.

### 14-1 المواد الضارة (Deleterious Materials):

يحتوى الركام على أنواع مختلفة من المواد الضارة سنذكر فكرة عنها فيما يلى:

#### 14-1-1 الطين والمواد الناعمة (Clay and Fine Materials):

نظراً لأن الركام من الأحجار الرسوبية فإنه عند ترسيبه يختلط بالمواد الناعمة من طين وطمى ومواد أخرى، وهذه المواد تتميز بمساحة سطحية عالية جداً لأن قطر حبيباتها أقل من 750 ميكرومتر (تمر من منخل 200)، ولذلك فإن هذه المواد إذا زادت عن حد معين يزيد

محتوى الماء وتقل مقاومة الضغط ومقاومة الترابط بين حبيبات الركام والمونة الأسمنتية، وتلك المواد يجب ألا تزيد نسبتها للركام الكبير عن 1% وللرمل عن 3%، وتزيد هذه النسبة قليلاً إذا كان أساسها من كربونات الكالسيوم فهي في تلك الحالة تأثيرها السلبي يكون قليل وقد يحسن من بعض خواص الخرسانة، ولكن يجب التأكد بالتحليل الكيميائي لهذه المواد من تكوينها، وتحدد تلك المواد بالنخل على منخل 200 بالغسيل، و تحسب نسبة المواد المارة من منخل 200 بالنسبة لوزن العينة الأصلية كما سيذكر لاحقاً.

#### 14-2 الشوائب العضوية (Organic Impurities):

يحتوى الركام على شوائب عضوية تنتج عن تحلل النباتات الموجودة في الركام حيث ينتج عن هذا التحلل حمض التانيك ومشتقاته، وهذه المواد تظهر بصورة أوضح في الرمل، وهذه المواد تؤثر على شك الأسمنت حيث أنه ينتج عنها مواد تؤجل شك الأسمنت، وبالتالي تقل المقاومة المبكرة للخرسانة، وللكشف عن هذه الظاهرة يجب عمل اختبار Colorimetric الموجود في ASTM C- 40-69 ، وفي حالة إثبات هذا الاختبار لوجود تلك المواد فيجب صب مكعبات خرسانة بهذا الرمل وصب مكعبات برمل قياسى خالى من وجود تلك المواد وتحدد مقاومة الضغط للنتين، ويجب ألا تقل النسبة بين مقاومة ضغط الخرسانة المحتوى رملها على مواد عضوية ومقاومة الخرسانة ذات الرمل القياسى عن 1.00.

#### 14-3 الأملاح المحتواه في الرمل (Salt Contamination):

يحتوى الركام على أملاح الكلوريدات والكبريتات والتي يجب تحديدها بعمل اختبار كيميائى لتحديد محتوى الكلوريدات والكبريتات كنسبة من وزن الركام، وزيادة محتوى الكلوريدات يؤدي إلى تعجيل صدأ صلب التسليح، أما زيادة محتوى الكبريتات فيؤدى إلى حدوث تمددات بالخرسانة وخاصة في حالة توفر الرطوبة في الخرسانة، والكود المصرى للخرسانة (كود 203-2007) يسمح بالنسب الواردة في جدول (1-13)

جدول (1-13) الحدود المسموح بها للكلوريدات والكبريتات بالركام وثبات الحجم للركام

الحد الأقصى كنسبه مئوية من وزن الركام		الخاصية *
الركام الكبير	الركام الصغير	
0.04%	0.06%	1 - محتوى الكلوريدات القابل للذوبان في الماء (Cl <sup>-</sup> ) **
0.4%	0.4%	2 - محتوى الكبريتات الكليه على هيئة (SO <sub>3</sub> ) ***
12	10	3 - ثبات الحجم الكيميائى (معبراً عنه بالنسبة المئوية المفقده فى الوزن)
18	15	3 - أ - التعرض لـ 5 نورات فى محلول كبريتات الصوديوم . 3 - ب - التعرض لـ 5 دورات فى محلول كبريتات المغنسيوم .

\* تحدد هذه الخواص بالإختبارات الواردة بالمواصفات القياسيه .

\*\* لانتزيد النسبه المئوية لمحتوى الكلوريدات القابل للذوبان فى الماء على 0.010% من

الركام الشامل فى حالة الخرسانة سابقة الإجهاد .

\*\*\* بشرط خلو الركام من الجبس .



#### 1-14-4 الحبيبات الغير ثابتة (Unsound Particles):

يحتوى الركام على حبيبات غريبة عن الركام من مواد أخرى، وهذه المواد تفقد تماسكها ومقاومتها عند التعرض للأحمال أو قد يحدث عنها تمدد كبير عند تعرضها للماء أو للتآكل، وتلك المواد تشمل ما يلي:

أ- المواد الخفيفة:

مثل الفحم والأحجار الرخوة (Shale) والتكتلات الطينية (Clay Lumps) وغيرها. زيادة هذه المواد يؤدي إلى نقص المقاومة، ووجود نسبة عالية من التكتلات الطينية قد يؤدي إلى خطورة على القطاع الخرساني، والرمم المسرود (المنخول) يقل فيه جداً تلك التكتلات الطينية، ويجب تحديد محتوى تلك المواد في الركام والتي يجب أن تكون مسموح بها.

ب- الميكا:

وهو معدن شفاف يزيد من متطلبات محتوى الماء، وقد تتفاعل بعض أنواع الميكا مع مركبات إمالة الأسمنت.

ج- الجبس والكبريتات الأخرى:

وهذه المواد في حالة وجود رطوبة بالخرسانة قد تؤدي إلى حدوث تمدد بالخرسانة المتصلدة.

#### 1-14-5 وجود مواد تؤدي إلى عدم ثبات الركام (Materials Yield Unsound Particles):

قد تحتوي حبيبات الركام على مواد ضعيفة مثل الطين والحجر الجيري الطيني؛ والذي يظهر عند إجراء اختبار التحليل بالأشعة السينية (X-Ray Analysis)، وقد تتواجد مواد أخرى، وعند تعرض الركام لدورات من التآكل ونوبانها أو عند التعرض لدورات من البلل والجفاف فقد يحدث تغير حجمي في حبيبات الركام أو تفتت قد يؤدي إلى عدم الثبات الحجمي للخرسانة، وكلما كان الركام قابل لحدوث تغير حجمي به يقال عنه أنه غير ثابت (Unsound)، وللكشف عن وجود هذه الظاهرة يجب استخدام تجربة ASTM C88-76 لدراسة ظاهرة Soundness للركام؛ وفيها يتم تعريض الركام لـ 5 دورات من الغمر في محلول قياسي من كبريتات الماغنيسيوم أو الصوديوم ثم يتم التجفيف بعد كل دورة غمر، وبالتالي يحدث تفتت في بعض الحبيبات، وهذا التفتت يزيد كلما زادت المواد الغير ثابتة، والنسبة المئوية المسموح بها للمواد المتفتتة من الركام الكبير في هذه التجربة لا تزيد عن 18% و 20% عند استخدام كبريتات الماغنيسيوم والصوديوم على الترتيب، بينما لا تزيد عن 15% و 10% للركام الصغير (أنظر جدول 1-13).

## 15-1 طرق أخذ العينات (Aggregate Sampling):

### • الهدف :

تهدف هذه الطرق لتحديد الوسائل القياسية لأخذ وتحضير عينات الاختبار للركام الكبير أو الصغير أو الخليط .

### • العينات :

— أخذ وتحضير العينات .

يختص هذا الجزء بإعداد العينات الشاملة ، تجهز عينات الركام الصغير أو الكبير أو الخليط اللازمة لإجراء الاختبارات المبينة فيما بعد بأخذها من المحجر وعند التوريد ويكون ذلك من الركام المنقول بالعربات أو أية وسيلة أخرى أثناء تعبئته بالمحجر وأى مكان آخر ، وتؤخذ عينة واحدة شاملة لكل 100 متر مكعب من الركام إلا فى الحالات التى يكون فيها الركام مأخوذاً من محاجر معروفة الخواص فيجوز الإكتفاء بعينة واحدة بشرط ألا يكون هناك اختلاف واضح فى الركام المورد . وينكر حجم كمية الركام الكلية المأخوذة منها العينة ، ويمكن تمثيل هذه الكمية بعينة واحدة إذا كان المطلوب معرفة خواص الركام ، أما إذا كان المطلوب الحصول على معلومات خاصة تبين مدى اختلاف الركام فيتم تحضير بضعة عينات تمثل كل عينة منها الركام المأخوذ على فترات محددة من الكمية الكلية ووضع كل عينة فى عبوة مغلقة تفصلها عن العينات الأخرى .

— تؤخذ العينة الواحدة فى الموقع كما يلى :

تحضر العينة بأخذ كميات متساوية من الركام على وجه التقريب من مواضع مختلفة على أن يكون ذلك من نقاط متفرقة على جوانب المصدر من أعلاه ومنتصفه وأسفله ، ثم تخلط هذه الكميات مع بعضها البعض خلطاً تاماً لتكون العينة الكلية الممثلة للركام ، ويراعى عند أخذ كميات الركام المذكورة أن تكون ممثلة تماماً لغالبية الحبيبات ولا تؤخذ من نقط تتركز فيها الحبيبات الكبيرة كما يحدث عادة فى أسفل الأكوام . على ألا يقل عدد النقاط التى تؤخذ منها كميات الركام عن عشر نقاط للعينة الواحدة . وفى حالة تحضير العينات تحت ظروف غير عادية يراعى أن تكون نقط أخذ كميات الركام من المصدر كثيرة بحيث تكون العينة الكلية أكبر لضمان تمثيلها للركام تمثيلاً صحيحاً ، ويفضل أن يكون عدد تلك النقاط ووزن كمية الركام المأخوذة من كل نقطة ووزن العينة الكلية كما هو مبين بجدول (1-14) والذي يتراوح بين 200 كجم و 40 كجم وعن طريق التقسيم تستخرج مئة عينة الاختبار التى ترسل للمعمل بوزنها أو مضاعفاتها ( أى ترسل عينتين أو أكثر ) .

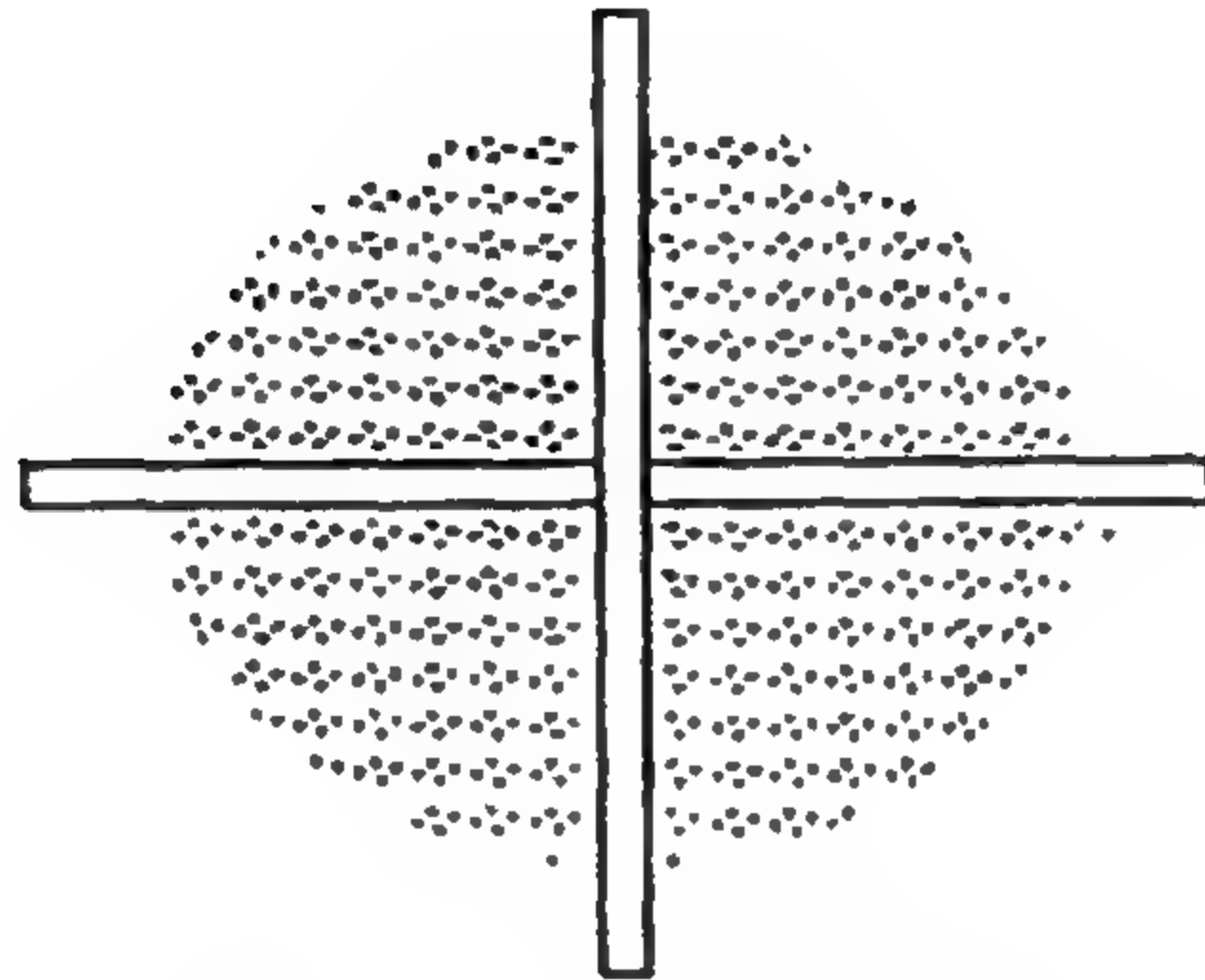
### • خطوات الاختبار :

— تحضير العينة للاختبار .

تحضر العينة التى ترسل لمعمل الاختبار بتجزئة العينة الكلية فى الموقع ، وتكون هذه التجزئة بالأوزان المبينة بجدول (1-14) باستخدام طريقة التقسيم الربعى كما يلى :

— تعمل التجزئة بالخلط التام لكميات الركام المأخوذة من النقاط المختلفة والمكونة للعينة الكلية وذلك بعمل كوم مخروطى منها ثم يقلب ، ويعاد عمل الكوم المخروطى مرة ثانية وتجرى هذه العملية ثلاث مرات ، ويراعى عند عمل الكوم المخروطى أن يكون تكوين الركام بوضعه فى رأس المخروط وتركه ينساب إنسياباً منتظماً على جوانبه ، يراعى عدم زحزحة مركز قاعدة المخروط وإعادة قطع الركام الكبير التى تتبعثر حول القاعدة الى جوانب الكوم ،

ثم تسطح الكومة المخروطية الثالثة بحرف لوح من الخشب أو حرف جاروف ب سعة قطرياً في مركز الكومة وتحريكه دائرياً مع رفعه بعد كل دورة وإعادة ذلك عدة مرات حتى يتسطح الكومة بهيئة دائرية بتخانة منتظمة على أن يكون مركزها هو نفس مركز الكوم المخروطي . ثم تقسم الكومة الدائرية المسطحة الى أربعة أقسام وذلك بوضع لوحين من الخشب أو المعدن على سطحها على شكل قطرين متعامدين ثم ضغطها كما هو مبين بالشكل رقم (1-18) ثم يستبعد جزآن متعامدان قطرياً ويؤخذ الجزآن الآخران ويخلطان مع بعضهما خلطاً تاماً ، وتكرر عملية التقسيم الرباعي على خليط هذين الجزأين مرة أو أكثر حتى يحصل على الكمية اللازمة لعملية الاختبار .



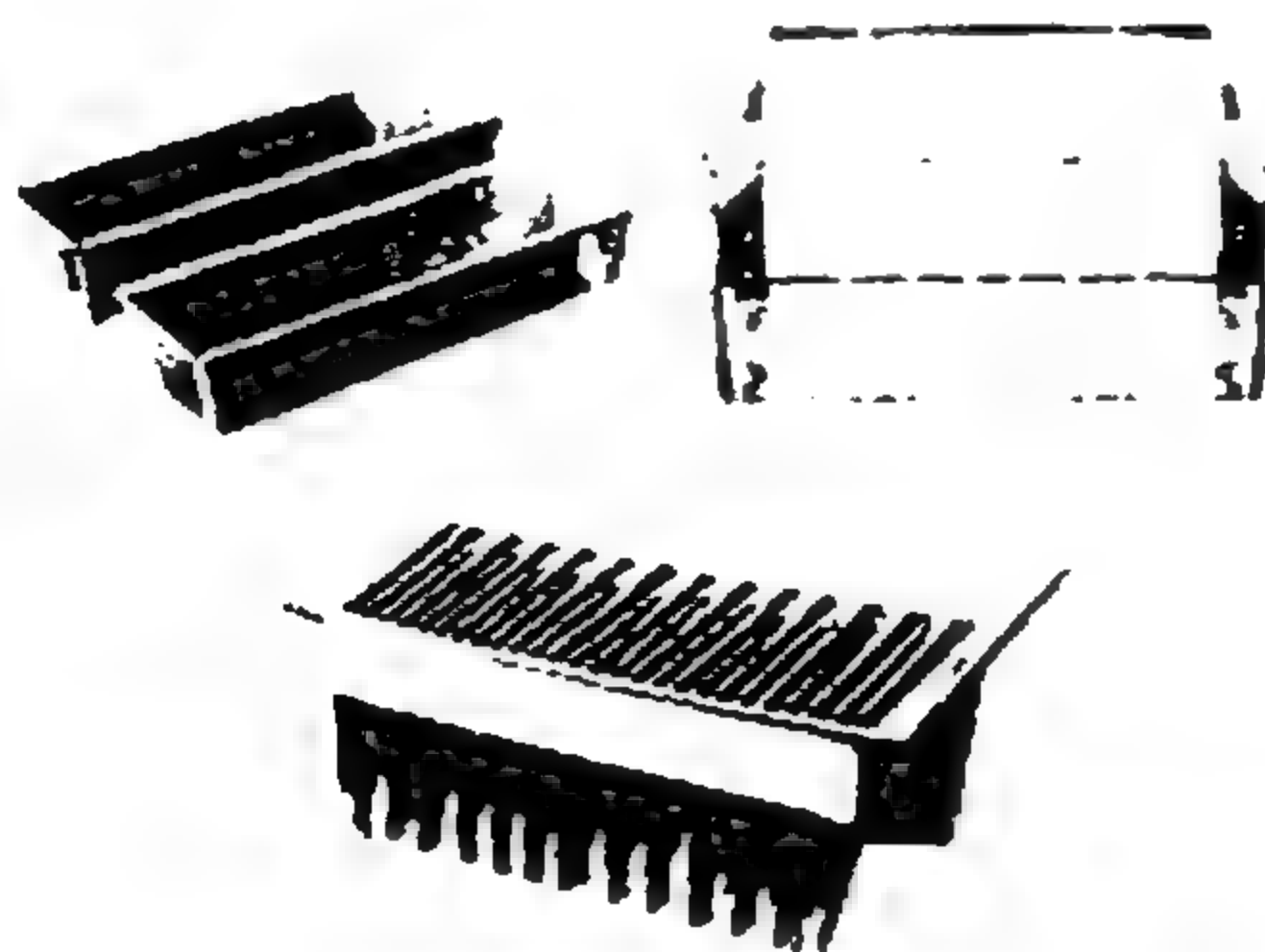
شكل (1-18) التقسيم الرباعي للركام

— تعبئة عينات الاختبار :

تكون الأوعية التي ترسل فيها العينات لمعامل الاختبار متينة تتحمل أية ظروف سيئة أثناء الشحن على ألا يفقد أى جزء من الركام لا سيما المواد الناعمة ، ويتوقف نوع وعاء التعبئة على طريقة شحن عينة الاختبار ، وتستعمل الأكياس ذات النسيج القوي المضموم أو الصناديق الخشبية المحكمة أو الأسطوانات المعدنية .

— إختزال العينات للاختبار المعملی :

يتم إختزال العينات الواردة للمعمل للحصول على الكميات اللازمة لإجراء الاختبارات المعملية باستخدام صندوق التقسيم Riffler (شكل 1-19).



شكل (1-19) جهاز تقسيم الركام

— يرفق تقرير يختص بمعلومات الركام .

جدول (1-14) عدد النقاط التى تؤخذ منها عينات الركام ووزن العينة

المقاس الإختبارى للركام (مم)	المناخل القياسية		عدد نقط أخذ الركام	وزن كمية الركام المأخوذة عند كل نقطة (كيلو جرام)	وزن العينة الكلية (كيلو جرام) فى الموقع	وزن عينة الإختبار (كيلو جرام) المرسلة للمعمل
	رقم المنخل	العرض الاسمى للفتحة (مم)				
40	7	37.5	20	10	200	50
32	8	28	20	10	200	50
25	10	20	20	10	200	50
20	11	20	20	5	100	25
16	12	14	20	5	100	25
10	15	10	20	4	80	20
5	19	5	10	4	40	10

## 1-15-2 اختبار التحليل بالمناخل للركام:

### Test Method for The Determination of Sieve Analysis of Aggregates:

- يهدف هذا الاختبار الى تحديد:
  - التدرج الحبيبي أى توزيع مقاسات حبيبات الركام فى كمية من الركام وذلك لإستخدامه فى الخلطات الخرسانية .
  - معايير النعومة للركام .
  - المقاس الإعتبارى الأكبر للركام .

#### • الأجهزة:

- يتم إستخدام مجموعة المناخل القياسية لكل من الركام الكبير والركام الصغير والركام الخليط كما هو بجدول (1-15) ومذكور أرقام وفتحات المناخل الذى يستخدم فى ركام الخرسانة المسلحة للمواصفات المصرية والبريطانية والأمريكية فى بند تدرج الركام (1-4) .
- والمناخل القياسية المذكورة هى المناخل ذات هيكل معدنى اسطوانى .
- هزاز مناخل ميكانيكى (إختبارى) .

#### • العينات :

- تحضر عينة الإختبار بتجزئة العينة الكلية كما هو مبين بإختبار طرق أخذ عينات الركام لكى تحقق الأوزان المنصوص عليها بجدول (1-16) لوزن عينة الإختبار .
- تجفف عينة الإختبار حتى يثبت وزنها لأقرب 0.1 % من وزن العينة فى فرن درجة حرارة  $105 \pm 5$  درجة مئوية لمدة  $24 \pm 4$  ساعة .
- توزن عينة الركام الجافة بدقة لأقرب 0.1 % من وزن العينة وليكن وزنها (W) .
- ترتب المناخل طبقاً لمقاس فتحة المنخل ترتيباً تصاعدياً ابتداءً من الوعاء ثم تتخل العينة ويبدأ النخل بالمنخل الأكبر وينتهى بالمنخل الأصغر .
- تجرى عملية النخل بهز المناخل ميكانيكياً أو يدوياً مدة كافية لانتقل عن 5 دقائق بحيث لا يمر من أى منخل بعدها إلا 0.1 % من وزن العينة الكلى خلال دقيقة من النخل اليدوى .
- تكون عملية النخل بتحريك المنخل رأسياً وأفقياً وذلك بهزه أماماً وخلفاً يميناً وشمالاً ودائرياً



فى إتجاه عقرب الساعة وعكسه كما يحرك المنخل من وقت لآخر بحركة إلتفافيه حتى يتحرك الركام باستمرار فوق وجه المنخل ليتيسر لحبيباته فرصة المرور من فتحات المنخل .  
 - يراعى أثناء نخل الركام الكبير ألا تجبر حبيباته على المرور من فتحات المنخل بالضغط عليها باليد وفى حالة المناخل التى مقاس فتحتها 20 مم وأكبر يسمح بمساعدة حبيبات الركام على المرور من فتحات هذه المناخل .

- يراعى أثناء نخل الركام الصغير إمكان فرك التكرات المتجمعة - إن وجدت - بضغطها على جدار المنخل وكذلك تستخدم فرشاه مناسبة لحك ظهر المناخل لإخلاء فتحاته من الركام الصغير كما يراعى استعمال فرشاة ناعمة فوق وجه المنخل مقاس 0.15 مم لمنع حدوث تجمع الركام الناعم مع عدم إحداث أى ضغط على سطح هذا المنخل .

- توزن مقادير الركام المحجوزه على كل منخل على حده بالميزان الحساس ولتكن أوزانه  $W_1$  و  $W_2$  و  $W_3$  ..... الخ .

- تحسب النسبة المئوية للركام المحجوز على كل منخل والنسبة المئوية للركام المار منه من واقع الأوزان المحجوزه على كل منخل كما بجدول (1-17) .

- فى حالة إجراء إختبار التدرج على عينة الركام بعد غسلها وتجفيفها يضاف وزن المواد الماره من منخل الإختبار 0.075 (منخل 200) الى وزن المواد المارة من أصغر فتحة منخل (منخل 100) .

- يعين من النسبة المئوية للمار المقاس الإعتبارى الأكبر للركام .

- يحسب معايير النعومة للركام الصغير .

جدول (1-15) المناخل القياسية لإختبار التدرج الحبيبي

فتحة المنخل (مم)	
نسيج شبكى (أسلاك مضفرة) بفتحات مربعة قطر المنخل 300مم أو 200مم (ركام صغير)	لوح من الصلب الطرى مثقب بفتحات مربعة قطر المنخل 450مم أو 300مم (ركام كبير)
3.350	75
2.360	63
1.700	50
1.180	37.5
0.850	26.5
0.600	19
0.425	13.2
0.300	9.5
0.212	6.7
0.150	4.75
*0.075	
* يمكن فى بعض التطبيقات استخدام المنخل 0.063 مم	

**جدول (16-1) أقل وزن لعينة اختبار التحليل بالمناخل**

المقاس الإعتباري (مم)	أقل وزن لعينة الإختبار (كجم)
63	50
50	35
37.5	15
28	5
20	2
14	1
10	0.5
5	0.2
2.36	0.2
2.36 >	0.1

جدول (1-17) طريقة حساب النسبة المئوية المحجوزة والنسبة المئوية المارة في اختبار التحليل بالمناخل .

النسبة المئوية المارة من الركاب	النسبة المئوية المحجوزة من الركاب	الوزن الكلي المحجوز على كل منخل	الوزن المحجوز على كل منخل	مقاس فتحة المنخل (مم)
$100 - (\frac{W_1}{W} \times 100)$	$\frac{W_1}{W} \times 100$	$W_1$	$W_1$	37.5
$100 - (\frac{W_1 + W_2}{W} \times 100)$	$\frac{W_1 + W_2}{W} \times 100$	$W_1 + W_2$	$W_2$	20.0
$100 - (\frac{W_1 + W_2 + W_3}{W} \times 100)$	$\frac{W_1 + W_2 + W_3}{W} \times 100$	$W_1 + W_2 + W_3$	$W_3$	10.0
$100 - (\frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{W} \times 100)$	$\frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{W} \times 100$	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4$	$W_4$	5.0

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

— احکم علی تدرج الرکام بمقارنتها بحدود المواصفات ببند (5-4-1) .

### 1-15-3 اختبار تعيين النسبة المئوية للإمتصاص للركام:

### **Test Method to Determine The Percentage of Absorption for Aggregate:**

## 1- الركام الكبير:

— يهدف هذا الاختبار لتعيين النسبة المئوية لامتصاص الركام الكبير للماء بالوزن.

— يتم غسل العينة قبل الاختبار على منخل 5مم لإزالة كل المواد الناعمة والطين والني ستفقد أثناء الاختبار وبالتالي تؤثر على نتائجه، وبالنسبة للركام المعتاد (عدا الخفيف أو الثقيل) يجب ألا يقل وزن عينة الاختبار بالجرام عن 100 مرة المقاس الاعتباري الأكبر للركام بالليمتر.

— يتم وضع عينة الاختبار في السلة السلك (ذات فتحة من 1 إلى 3 مم) ثم تغمر في وعاء به كمية مناسبة من الماء عند درجة حرارة ثابتة (15-25 درجة مئوية) مع التأكد من الغمر التام لعينة الاختبار في الماء بحيث لا تقل المسافة بين أعلى نقطة في السلة السلك وسطح الماء عن 50 مم.

— بعد الغمر يزال الهواء المحبوس بالعينة وذلك برفع السلة والعينة 25 مم مع التأكد من أن السلة و العينة مغمورتان غمراً تاماً في الماء، ثم يسمح لهما بالهبوط 25 مرة بمعدل مرة كل ثانية.

— تترك السلة وعينة الركام مغمورتين غمراً تاماً بالماء لمدة 24 ساعة.

— ترفع السلة والعينة ثم تخرجان من الماء ويسمح بصرف الماء العالق عليهما، ثم يتم بعد ذلك تفريغ الركام من السلة ويوضع على قطعة قماش جامدة ويجفف سطح العينة برفق ويستعان بقطعة قماش جافة أخرى إذا تطلب الأمر ذلك، ثم يتم وزن العينة وليكن وزنها (W1).

— توضع العينة في وعاء مسطح ثم توضع بفرن تجفيف درجة حرارته  $105 \pm 5$  °م وذلك لمدة 24 ساعة ، ويسمح للعينة أن تبرد دون تعرضها للرطوبة الموجودة بالجو ثم توزن وليكن وزنها (W2).

— يتم حساب النسبة المئوية لامتصاص الركام الكبير للماء =  $\frac{W1-W2}{W1} \times 100$

## 2- الركام الصغير:

— يهدف هذا الاختبار لتعيين النسبة المئوية لامتصاص الركام الصغير للماء بالوزن.  
— يؤخذ حوالي 1 كجم من عينة الركام الصغير باستخدام الخطوات و الإجراءات الموضحة في الاختبار السابق.

— تؤخذ عينة من الركام الصغير وتغمر بالماء لمدة 24 ساعة  $\pm 4$  ساعات ثم تجفف من الماء السطحي بطريقة قياسية ASTM C70 ويوزن الركام وليكن وزنه (W1).

— توضع العينة في وعاء مسطح ثم توضع بفرن تجفيف درجة حرارته  $105 \pm 5$  درجة مئوية وذلك لمدة 24 ساعة ، ويسمح للعينة أن تبرد دون تعرضها للرطوبة الموجودة بالجو ثم توزن وليكن وزنها (W2) .

— يتم حساب النسبة المئوية لامتصاص الركام الصغير من المعادلة التالية :

$$\frac{W1-W2}{W1} \times 100$$

## 1-15-4 اختبار تعيين الوزن النوعي الظاهري للركام :

### Apparent Specific Gravity of Aggregate:

\* طريقة المواصفة المصرية القياسية :

— الهدف هو تحديد الوزن النوعي الظاهري للركام الصغير أو الكبير وهو ناتج قسمة وزن الركام الجاف على وزن الماء المساوي له في الحجم (وزن الماء المزاح) .

### 1- إجراء الاختبار للركام الصغير :

— تجفف العينة (لا تتعدى 100 جرام) في فرن مهوى درجة حرارته تتراوح بين 100-110 درجة مئوية ثم تبرد العينة في مجفف وتوزن وتعاد عملية التجفيف والتبريد والوزن عدة مرات الى أن يثبت الوزن وليكن (W) .

— يسكب ماء درجة حرارته بين 15-25 مئوية في قنينة ذات رقبة مدرجة تدريجاً قياسياً ، مثل زجاجة (لوشاتلييه) بحيث يصل الى صفر التدرج أو يعطو الى أى علامة مناسبة على الجزء المدرج من القنينة ، وتسجل قراءة التدرج وليكن V1 ثم يضاف الركام الصغير بوزن (W) الى داخل القنينة ، ويترك مغموراً لمدة ساعة مع إزالة فقاعات الهواء الموجودة وذلك بطرق القنينة طرقاً خفيفاً فوق قطعة من اللباد أو بأى طريقة أخرى كما يجب اتخاذ الحيلة لضمان بقاء جدار الجزء المدرج من القنينة جافاً وبعد ساعة من إضافة الركام الصغير تسجل القراءة الثانية وليكن (V2) .

$$\text{— الوزن النوعي للركام الصغير} = \frac{W}{V_2 - V_1}$$

2— تحديد الوزن النوعي للركام الكبير:

تغمر للعينة (2 كيلو جرام تقريباً) في ماء درجة حرارته (15-25) مئوية لمدة 24 ساعة ثم تؤخذ الحبيبات من الماء ويجفف سطحها بقطعة قماش مبللة بالماء .

— يستخدم إناء حجمة معلوم V1 .

— تصب كمية مطومة الحجم من الماء في الوعاء وليكن (V2) الى مايقرب من منتصفه ثم تضاف حبيبات الركام الى الوعاء ثم تضاف كمية أخرى من الماء حجمها (V3) الى أن يمتلئ الوعاء تماماً .

— ترفع العينة من الماء وتجفف في فرن مهيئ درجة حرارته تتراوح بين 100-110 درجة مئوية ثم تبرد في مجفف وتوزن وتعاد عملية التجفيف والتبريد والوزن عدة مرات الى أن يثبت الوزن وليكن (W1) .

$$\text{— الوزن النوعي الظاهري} = \frac{W_1}{V_1 - (V_2 + V_3)}$$

\* طريقة ASTM : يتم استخدام الطريقة المذكورة في البند 6-2-3 وفترة الغمر تكون 24 ساعة بدلاً من 48 ساعة .

1-15-5 اختبار تعيين الوزن الحجمي والنسبة المئوية للفراغات للركام:

**Test Method for Determination of Bulk Density (Volumetric Weight) and Percentage of Voids for Aggregate:**

- يهدف هذا الاختبار لتحديد الوزن الحجمي (وحدة الوزن) وهو ناتج قسمة وزن الركام على الحجم الذي يشغله .
- النسبة المئوية للفراغات هي النسبة بين حجم الفراغات الموجودة بين حبيبات الركام وبين الحجم الكلي الذي يشغله الركام .

• خطوات الاختبار:

— يتم إختيار الوعاء المناسب من جدول (1-18) حسب المقاس الاعتباري الأكبر للركام وليكن حجم الإناء V1 .

— يوزن الوعاء فارغاً وجافاً ونظيفاً وليكن وزنه W1 .

— يملأ الوعاء بالركام المدموك أو غير المدموك كما يلي :



- أ - الركام المدموك: يملأ الوعاء لثلاثة بالركام المخلوط خلطاً جيداً ويدمك بقضيب الدمك 25 مرة ثم يضاف مقدار آخر مساو له في الكمية ويدمك 25 مرة أخرى وبعد ذلك يملأ الوعاء لأكثر من سعته ويدمك 25 مرة .
- ب - الركام غير المدموك: يملأ الوعاء لأكثر من سعته بواسطة جاروف من إرتفاع لا يزيد على 5 سنتيمترات أعلى الوعاء ويجب إتخاذ العناية الكافية لمنع انفصال الحبيبات ذات المقاسات المختلفة المكونة لعينة الاختبار .
- يزال الركام الزائد عن سعة الوعاء باستعمال قضيب الدمك كمسطرة تسوية .
- يعين وزن الوعاء بما فيه من ركام وليكن وزنه  $W_2$  .
- يكرر الاختبار ثلاث مرات على الأقل ثم يؤخذ متوسط النتائج .

جدول (1-18) مقاسات أوعية تعيين الوزن الحجمى للركام

مقاسات الوعاء (مم)			سعة الوعاء (لتر)	المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)
تخانة الجدار	الارتفاع الداخلى	القطر الداخلى		
5.4	293.6	360	30	أكبر من 40
4.1	282.4	360	15	من 40 حتى 5
3.0	158.9	155	3	أصغر من 5

— يتم حساب الوزن الحجمى للركام كما يلى :

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V_1}$$

— يمكن حساب النسبة المئوية للفراغات بين حبيبات الركام كما يلى :

$$V\% = \left( \frac{P * \gamma_w - \gamma}{P * \gamma_w} \right) * 100$$

حيث :

$V\%$  = النسبة المئوية للفراغات بين حبيبات الركام .

$P$  = الوزن النوعى الظاهرى لحبيبات الركام كما تم تعيينها فى اختبار تعيين الوزن النوعى

الظاهرى للركام (اختبار رقم 1-15-4) .

$\gamma_w$  = كثافة الماء = 1 طن/م<sup>3</sup> .

$\gamma$  = الوزن الحجمى للركام (طن/م<sup>3</sup>) .

### 1-15-6 اختبار تعيين معامل العسوية (معامل الإستطالة) للركام الكبير:

#### Elongation Index of Coarse Aggregate:

— الهدف هو تحديد معامل العسوية والذي يعرف بأنه النسبة الوزنية للركام الذى يزيد طول

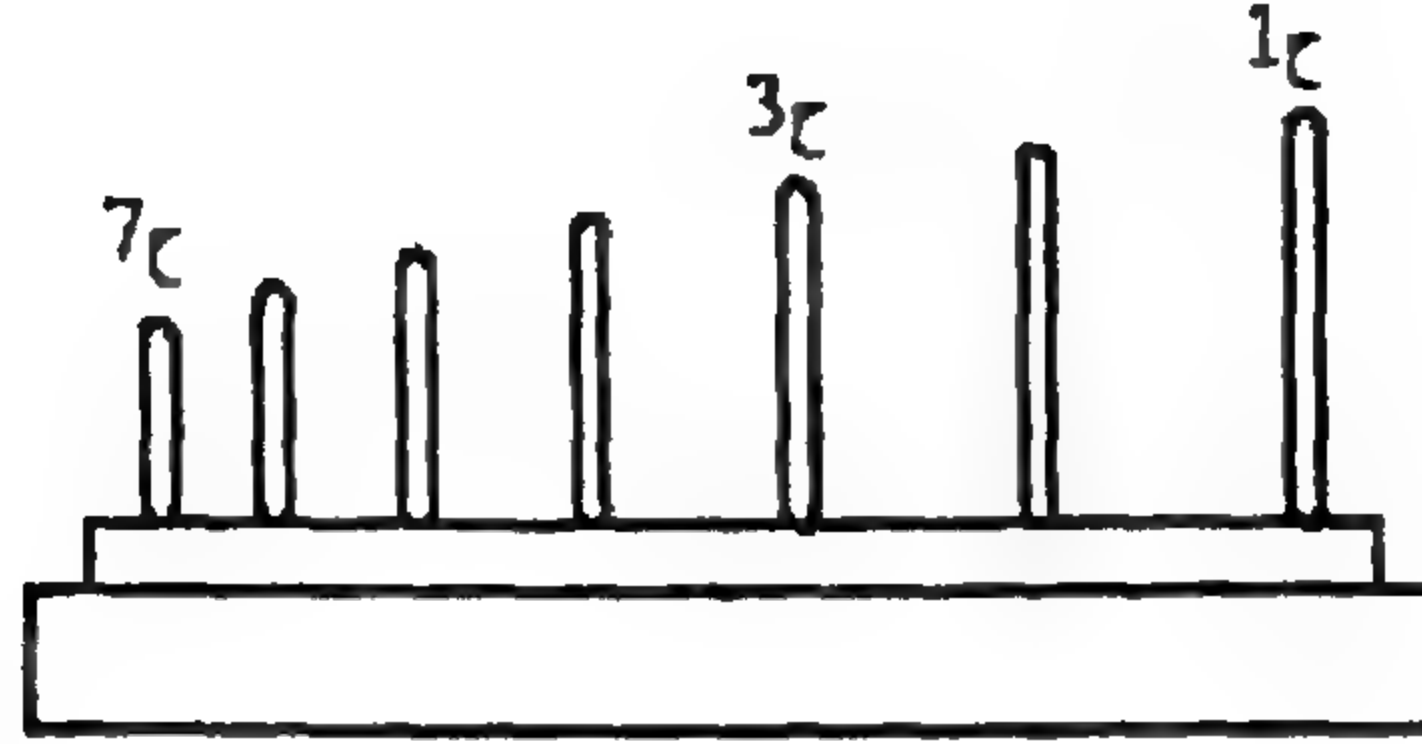
حبيباته على 1.8 مرة قطر المقاس المتوسط وذلك منسوباً الى وزن عينة الركام الكلى .

— يستخدم مقياس طول معدنى.

— يتم إجراء عملية تحليل بالمناخل لعينة الاختبار مع استخدام المناخل القياسية المبينة بجدول

(1-19)

- يتم تعيين الوزن الجاف لكل جزء محجوز من العينة على المناخل القياسية عدا المحجوز على منخل 50 مم الذي يتم إستبعاده ويتم إستبعاد الركام الأصغر من 6.3 مم ثم يوضع كل جزء بوعاء خاص به مع تسجيل المقاس الخاص بكل جزء على الوعاء .
- يقسم الركام الى 6 مقاسات ( المقاس من 50 الى 37.5 ، المقاس من 37.5 وحتى 28 .....الخ ) كما بجدول (1-20) وأى مقاس يحدد وزن ركام هذا المقاس وليكن M1 .
- يمرر أفقياً باليد حبيبات المقاس بين حائلين معدنيين المسافة بينهما تساوى 1.8 القطر المتوسط للمقاس كما هو موضح بمقياس العسوية بشكل (1-20).



شكل (1-20) جهاز معامل العسوية

- حدود وزن الحبيبات التى لا تمر من المقاس ولتكن M2 .
- معامل العسوية =  $\frac{\text{مجموع الحبيبات التى لا تمر M2}}{\text{مجموع وزن الركام الأصى M1}} \times 100$

جدول (1-19) المناخل القياسية

مقاس المنخل (مم)
50
37.5
28.0
20.0
14.0
10.0
6.3

جدول (1-20) بيانات تعيين معامل العسوية للركام

أقل وزن للجزء المختبر (كجم)	المسافة بين الحائلين	المسافة بين المسامير بمقياس الطول • (مم)	مقاس حبيبات الركام		
			مناخل الاختبار (مم)		
			المقاس المتوسط	100% محجوز	100% مار
35	ح1-ح2	0.3 ± 78.7	44.25	37.5	50.0
15	ح2-ح3	0.3 ± 59.0	32.75	28.0	37.5
5	ح3-ح4	0.3 ± 43.2	24.00	20.0	28.0
2	ح4-ح5	0.3 ± 30.6	17.00	14.0	20.0
1	ح5-ح6	0.2 ± 21.6	12.00	10.0	14.0
0.5	ح6-ح7	0.2 ± 14.7	8.15	6.3	10.0

• هذا المقاس يساوي 1.8 مرة من متوسط مقاس المناخل .

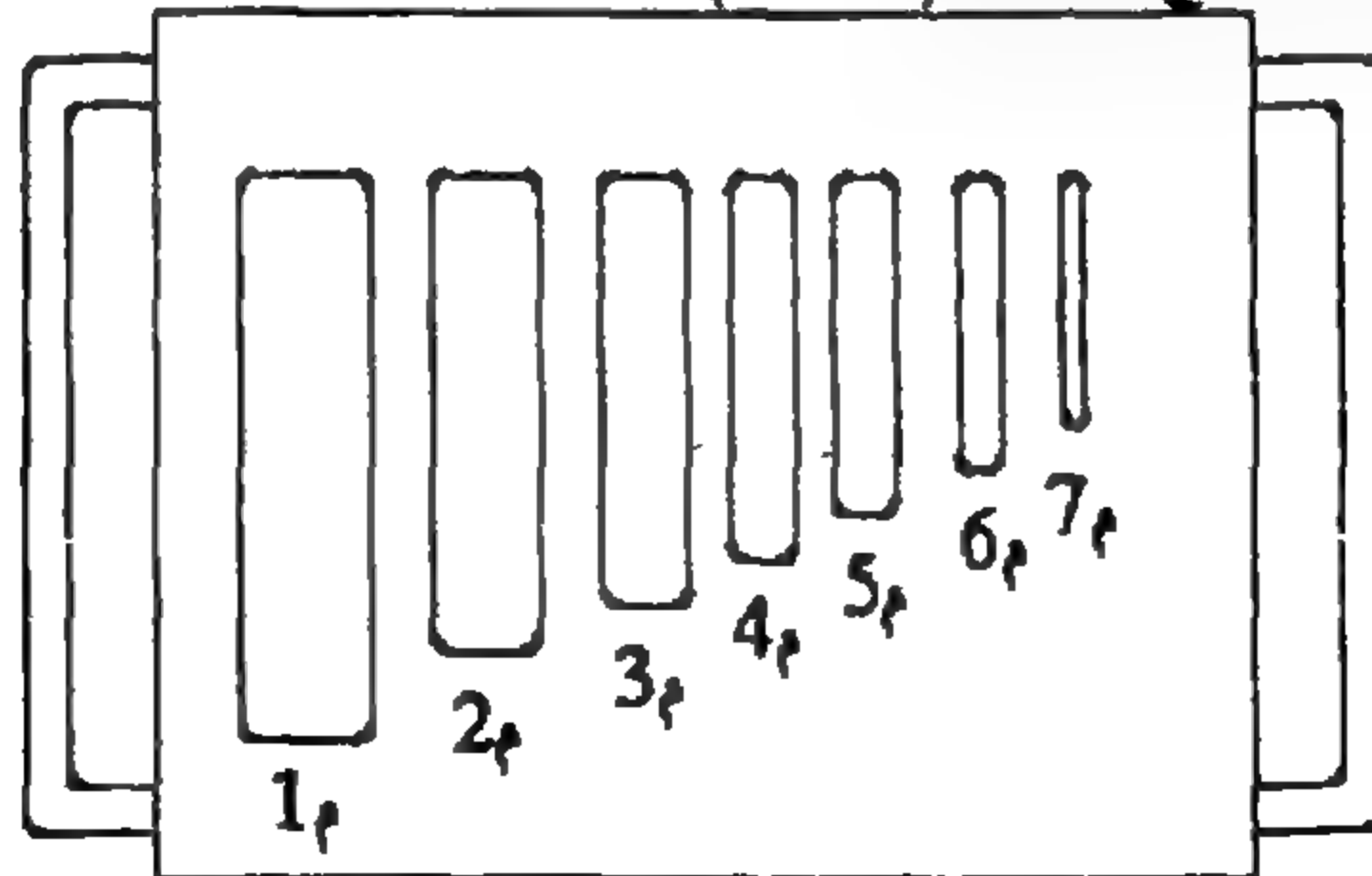
$$\text{مثال } 78.7 = 1.8 \times \frac{(37.5 + 50)}{2}$$

• الجهاز سبعة حوامل من ح1 وحتى ح7 .

#### 1-15-7 اختبار تعيين معامل التفلطح للركام الكبير:

##### Flakiness Index of Coarse Aggregate:

- الهدف هو تعيين معامل التفلطح للركام الكبير .
- يعرف بأنه النسبة الوزنية للركام الذي يقل سمك حبيباته عن 0.6 من المقاس المتوسط وذلك منسوباً الى وزن عينة الركام الكلى .
- يتم إجراء عملية تحليل بالمناخل لعينة الاختبار مع استخدام المناخل القياسية المبينة بجدول (1-21) .
- يتم تعيين الوزن الجاف لكل جزء من العينة محجوز على المناخل القياسية عدا المحجوز على منخل 63 مم الذي يستبعد هو والمار من منخل 6.3 مم . ثم يوضع كل جزء بوعاء خاص به مع تسجيل المقاس الخاص بكل جزء على الوعاء .
- يقسم الركام بذلك الى سبعة مقاييس (المار من منخل 63 والمحموز على منخل 50 ، المار من منخل 50 والمحموز على منخل 37.50 ..... الخ ) .
- يوزن كل مقاس وليكن M1 .
- باستخدام اليد تمرر حبيبات كل مقاس رأسياً من خلال السمك بالفتحة المناسبة من فتحات مقياس السمك المعدنى الموضح بشكل (1-21) .



شكل (1-21) جهاز معامل التفلطح

— إحسب وزن حبيبات الركام التى تمر من المقياس ولتكن M2 .

— معامل التفلطح للركام =  $\frac{\text{مجموع وزن الحبيبات التى تمر من الفتحات M2}}{\text{مجموع وزن الركام M1}}$

جدول (1-21) بيانات تعيين معامل التفلطح للركام

أقل وزن للجزء المختبر ** (كجم)	عرض الفتحة بمقياس التفلطح (مم)	مقاس حبيبات الركام		
		مناخل الاختبار (مم)		
		المقاس المتوسط	100% محجوز	100% مار
50	0.3 ± 33.9	1م	50.0	63.0
35	0.3 ± 26.3	2م	37.5	50.0
15	0.3 ± 19.7	3م	28.0	37.5
5	0.15 ± 14.4	4م	20.0	28.0
2	0.15 ± 10.2	5م	14.0	20.0
1	0.1 ± 7.2	6م	10.0	14.0
0.5	0.1 ± 4.9	7م	6.3	10.0

$$\text{مثال } 33.9 = 0.6 \left( \frac{50 + 63}{2} \right)$$

- \* عرض الفتحة يمثل سمك الحبيبه ويمثل 0.6 من القطر المتوسط .
- \*\* الوزن يمثل وزن الركام الذى يجرى عليه الاختبار طبقاً للمقاس الإعتبارى الأكبر .

#### 1-15-8 اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام بالوزن:

#### Determination of Clay and Other Fine Materials in Aggregates by Weight:

— يهدف هذا الاختبار لتحديد المواد الناعمة ذات المقاس أقل من 75 ميكرون (منخل رقم 200)

— فى حالة الركام الصغير تؤخذ عينة لا يقل وزنها عن 250 جم وفى حالة الركام الكبير أو الشامل يكون وزن عينة الاختبار كما هو مبين بجدول (1-22) .

— يتم تجفيف عينة الاختبار فى الفرن حتى (110 ± 5) درجة مئوية حتى يثبت وزنها وليكن W1 .

— توضع العينة على منخل مقاس 141 ميكرون ويوضع أسفل المنخل رقم مقاس 75 ميكرون

— يتم إزالة المواد الطينية والناعمة عن طريق سكب ماء الغسيل مباشرة فوق المنخلين مقاس 75 ميكرون ، ومقاس 141 ميكرون .

— تكرر الخطوتين السابقتين على نفس العينة حتى يصبح ماء الغسيل رائقاً تماماً .

— تجفف العينة المحجوزة على المناخل فى الفرن حتى (110 ± 5) درجة مئوية حتى يثبت وزنها وليكن W2 .

— تحسب النسبة المئوية بالوزن للطين والمواد الناعمة بالركام من العلاقة .

$$\frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$



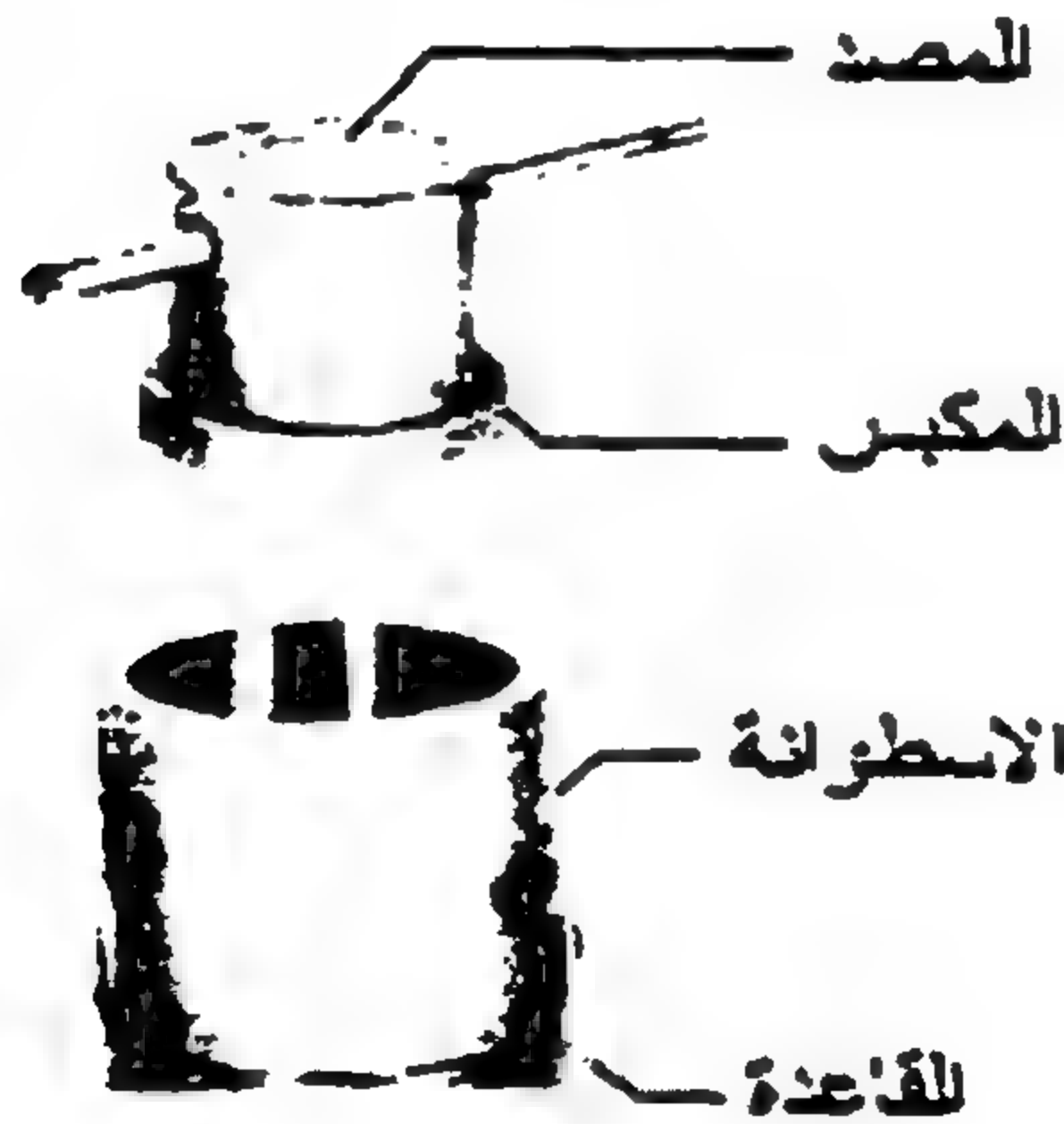
جدول (1-22) أوزان عينة اختبار نسبة الطين والمواد الناعمة الأخرى بطريقة النخل

المقاس الاعتباري الأكبر للركام (مم)	أقل وزن لعينة الاختبار
9.5 - 4.75	5 كجم
19.0 - 9.5	15 كجم
37.5 - 19.0	25 كجم
37.5 <	50 كجم

### 15-9 اختبار تعيين معامل الت هشيم للركام الكبير:

#### Test Method for Determination of Coarse Aggregate Crushing Value:

- يهدف هذا الاختبار لتعيين مقاومة الركام الكبير للت هشيم والتي تعطى مقياساً نسبياً لمدى مقاومة الركام الكبير للت هشيم تحت تأثير حمل ضغط تدريجي . ومعامل الت هشيم هو النسبة المئوية المارة بالوزن من المنخل القياسي 2.36 مم وذلك بعد تعريض عينة الاختبار لحمل ضغط تدريجي قدره 400 كيلو نيوتن .
- هذا الاختبار لا يصلح للركام الذي يعطى معامل ت هشيم أكبر من 30، وفي هذه الحالة ينصح باستخدام اختبار تعيين الحمل المسبب لنسبة 10% نعومة والمبين في BS 812 Part 111-90
- يستعمل الجهاز المبين في شكل (1-22) والذي يتكون من إسطوانة مفتوحة من الجهتين تجلس على قاعده ويوجد مكبس لنقل الحمل للركام.



شكل (1-22) جهاز معامل الت هشيم

- عينة الاختبار :
- تحفف عينة الاختبار بوضعها في الصينية المعدنية داخل الفرن المهيوى درجة حرارته 100 - 110 درجة مئوية لمدة أربع ساعات ثم يبرد الركام .
- يستعمل في اجراء الاختبار الركام المار من المنخل القياسي 14 مم والمحجوز على المنخل القياسي 10 مم .

خطوات الاختبار :

- توضع الاسطوانة الصلب المفتوحة في مكانها على القاعدة .
- توضع عينة الاختبار في الاسطوانة الصلب على ثلاث دفعات متساوية تقريبا وتدمك كل دفعة 25 مرة بواسطة قضيب الدمك ثم يسوى سطح الركام في الاسطوانة ويوضع فوقها المكبس الصلب ويراعى عدم حشر المكبس في الاسطوانة .
- توضع الاسطوانة والقاعدة والمكبس في مكنة اختبار الضغط ثم يحمل المكبس تدريجيا بمعدل منتظم حتى يصل حمل الضغط الى 400 كيلو نيوتن في مدة 10 دقائق ثم يرفع الحمل بعد ذلك

- يفرغ الركام من الاسطوانة في صينية معدنية وتوزن العينة لأقرب جرام وليكن وزنها (M1)

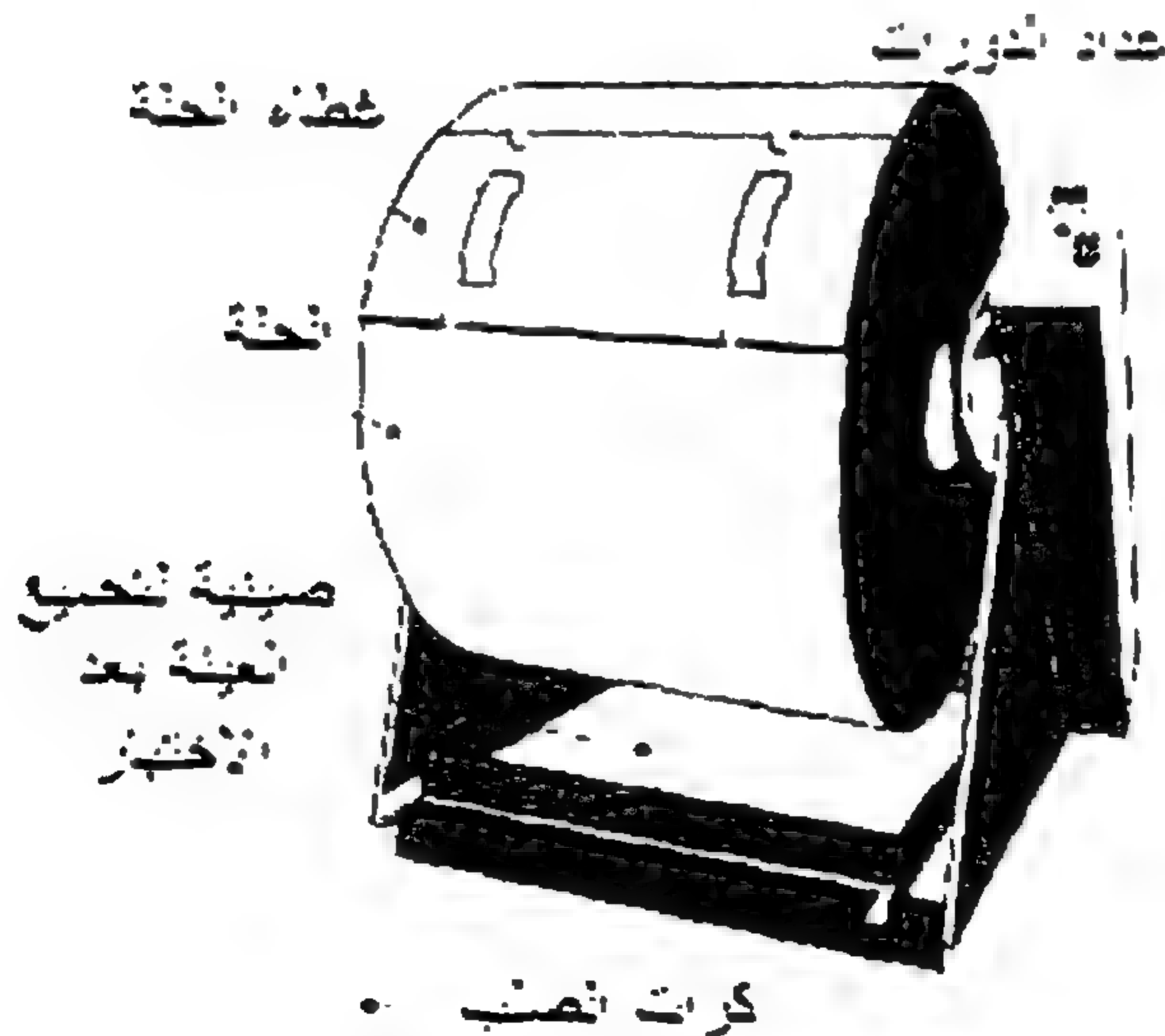
- تتخذ العينة على المنخل القياسي 2.36 مم ونعين الوزن المار على المنخل وليكن M2.

$$\text{معامل التهشيم} = \frac{M2}{M1} \times 100$$

15-10 اختبار تعيين مقاومة الركام الكبير للبرى بجهاز لوس أنجلس:

### Determination of Abrasion Resistance of Coarse Aggregates in Los Angeles Machine:

- يجرى هذا الاختبار لتعيين معامل البرى للركام الكبير باستخدام جهاز لوس أنجلس .
- والذي يعرض وزن قياسي من الركام لـ 500 دورة صدم بكرات قياسية من الصلب .
- يستخدم جهاز لوس أنجلس للبرى - موضح بشكل (1-23).



شكل (1-23) جهاز لوس أنجلس للبرى

- يستخدم المناخل القياسية مقاس 16 مم ومقاس 1.7 مم .
- يستخدم كرات البرى من الحديد الزهر أو الصلب بقطر حوالى 48 مم ويتراوح وزن الكرة الواحدة بين 3.82 - 4.36 نيوتن .
- يفصل الركام الى مقاسات مختلفة عن طريق النخل على المناخل الموضح أرقامها بجدول (23-1).
- طبقاً لتدرج الركام يقوم المهندس بتحديد منطقة التدرج من أ وحتى ز كما بجدول (23-1).
- يتم وزن الركام المحجوز على المناخل طبقاً لمنطقة التدرج .
- يخلط الركام وليكن وزنه  $W_1$  .
- يتم تحديد عدد كرات البرى طبقاً لنوع تدرج العينة من جدول (24-1).
- توضع العينة وكرات البرى داخل مكينة لوس انجلس وتدار المكينة بسرعة 31-10 دورة فى الدقيقة بحيث يكون عدد الدورات الكلية 500 لكل من تدرجات العينة أ ، ب ، ج ، د و 1000 دورة لكل من تدرجات العينة هـ ، و ، ز .
- يرفع الركام من المكينة وينخل مقاس 16 مم ثم ينخل المار من هذا المنخل على المنخل القياسى مقاس 1.7 مم .
- يؤخذ الركام الكلى المحجوز على المنخلين السابقين ويغسل جيداً بالماء للتخلص من المواد الناعمة الملصقة بالسطح ثم يجفف فى فرن 105 - 110 درجة مئوية حتى ثبوت الوزن وليكن  $(W_2)$  .
- تحسب قيمة النسبة المئوية للبرى  $(Ab)$  .

$$Ab = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

جدول (23-1) تجميع عينة الاختبار بعد النخل

تجميع وزن عينة الاختبار تبعاً لنوع التدرج (جرام)							فتحة المنخل	
أ	ب	ج	د	هـ	و	ز	المار من	المحجوز على
—	—	—	—	1500	—	—	75.00	63.00
—	—	—	—	1500	—	—	63.00	50.00
—	—	—	—	1500	5000	—	50.00	37.5
1250	—	—	—	—	5000	5000	37.5	25.00
1250	—	—	—	—	—	5000	25.00	19.00
1150	1500	—	—	—	—	—	19.00	12.5
1150	1500	—	—	—	—	—	12.5	9.5
—	—	1500	—	—	—	—	9.5	6.3
—	—	1500	—	—	—	—	6.3	4.75
—	—	—	5000	—	—	—	4.75	2.38

جدول رقم (1-24) تحديد عدد كرات البرى والورى الكلى لها

نوع التدرج طبقاً لجدول 1	عدد الكرات
أ	13
ب	11
ج	8
د	6
هـ	11
و	11
ز	11



## الباب الثانى الأسمنت (Cement)

### 2-1 مقدمة ونظرة تاريخية:

الأسمنت هو المادة اللاصقة الهيدروليكية الناتجة عن حرق (تقليص) الأحجار الجيرية والطين بنسب معينة بعد طحنها مع وجود مواد أخرى مثل الألومينا والحديد ، وبعد الحرق يتم طحنه بعد إضافة الجبس والأسمنت عند إضافة الماء إليه يتحول إلى مادة لدنة سهلة التشغيل والتشكيل ، وبعد فترة زمنية تبدأ في فقد لدونتها ويقال أنها شكت شكاً ابتدائياً، وبعد فترة أخرى تتصلب العجينة الأسمنتية التي فقدت لدونتها وتستطيع تحمل إجهاد صغير جداً ، ويقال أنها شكت شكاً نهائياً ، ومع زيادة عمر الخرسانة تكتسب العجينة مقاومة ضغط جيدة .  
ويستخدم الأسمنت فى إنتاج الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة وفى أعمال بناء الحوائط وفى إنتاج طوب البناء الأسمنتى وأعمال البياض .....إلخ.

قام الإنسان فى الأزمنة القديمة باستخدام الطين كمادة لاحمة عند تصلبها، ثم استخدم المصريون القدماء مادة الجير والجبس كمادة لاحمة. واستخدم الرومانيون خليطاً من الجير والمواد البوزولانية كمادة لاحمة. وفى سنة 1756 بدأ سميثون فى الدراسة لإنتاج أسمنت هيدروليكي ناتج من حرق الحجر الجيري الصلد الغير نقى والذي يحتوى على مواد طينية. وفى بداية القرن التاسع عشر قام العديد من الباحثين بإنتاج أسمنت ناتج من حرق الحجر الجيري والطين مثل الفرنسى فيكات ، وبعد ذلك تمكن الإنسان من إنتاج الأسمنت الطبيعى الناتج من أحجار الأسمنت الطبيعى. ثم قام جوزيف الإنجليزي فى إنتاج الأسمنت البورتلاندى الناتج من حرق الأحجار الجيرية والمواد الطينية بعد طحنهما وخلطهما وتعيمهما. ثم تلى بعد ذلك العديد من الأبحاث التى عملت على تحسين خواص الأسمنت ، وتم صناعة الفرن الدوار الذى يُستخدم حتى اليوم.

وفى سنة 1900 أنشأ أول مصنع أسمنت فى منطقة المعصرة. وفى سنة 1911 أنشأ أول مصنع صغير فى الإسكندرية لإنتاج الأسمنت الطبيعى ثم توقف. وفى سنة 1927 تأسست شركة أسمنت طره ثم أنشأت شركة أسمنت حلوان فى سنة 1929. وفى عام 1948 تأسست شركة الإسكندرية لأسمنت بورتلاند بالمكس. وفى سنة 1956 تأسست الشركة القومية لإنتاج الأسمنت بالتبطين. وتوالى إنشاء مصانع الأسمنت فى مناطق متعددة فى مصر. وفى نهاية القرن العشرين وبداية القرن الواحد والعشرين تم بيع العديد من الشركات للشركات الأجنبية فى إطار سياسة الخصخصة التى انتهجتها الحكومات المصرية فى تلك الفترة.

### 2-2 خامات الأسمنت البورتلاندى (Materials of Portland Cement):

#### 2-2-1 الحجر الجيرى (Lime Stone):

وهو الخامات الرئيسية فى إنتاج الأسمنت. وهذه الأحجار يجب أن تكون غنية بـكربونات الكالسيوم (90-98%) وبها نسبة سليكا تصل إلى 5.5%. ولا يمكن استخدام أحجار بها نسبة عالية من أكسيد الماغنسيوم أو أملاح الكلوريدات والكبريتات . ولا يمكن استخدام أحجار الدولوميت ، كما أنه يمكن استخدام الأحجار الطباشيرية .

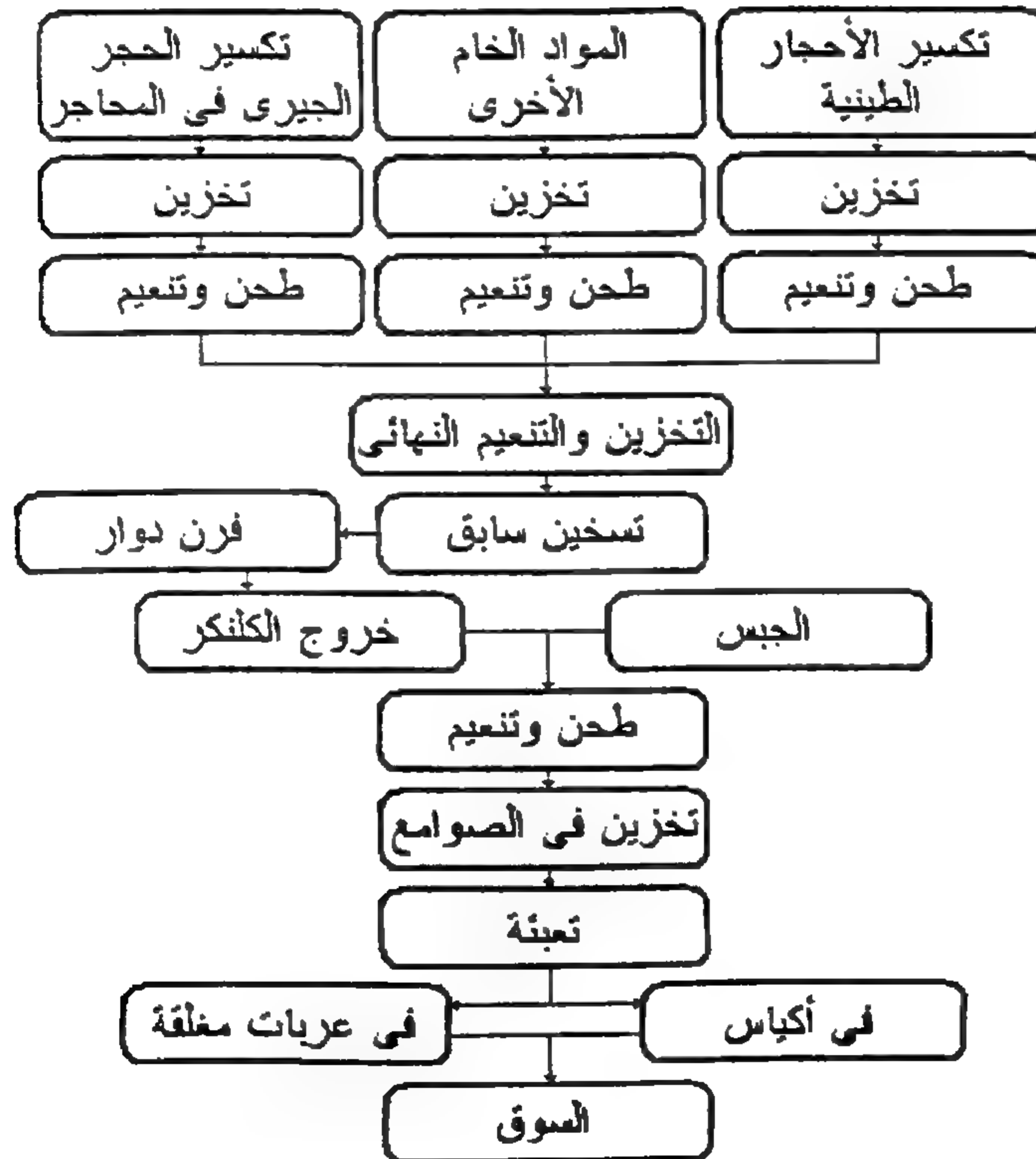
## 2-2 الطين أو الطمي (Clay or Silt):

وهو المصدر الرئيسى لأكسيد السليكون والألومينا فى الأسمنت بالإضافة لما يحتويه من أكسيد المناسيوم .

وعموماً فإن نسب استخدام الأحجار والمواد الطينية يجب أن تحقق محتوى كربونات الكالسيوم متوسط فى حدود 76 %، بينما يمثل الطين نسبة بين 24.5 و 32.5 %. وبالإضافة لأهمية وجود أكسيد الحديد والألومينا على خواص الأسمنت فإنهما يساعدان فى تخفيض درجة انصهار الجير والطين.

## 2-3 صناعة الأسمنت (Cement Industry):

توجد طريقتين لتصنيع الأسمنت ؛ الطريقة الأولى هى الطريقة الجافة وفيها يتم خلط وتنعيم مكونات الأسمنت بحالتها الطبيعية ، أما الطريقة الثانية فيتم خلط المواد بعد إضافة الماء إليها ثم يتم طحنها فى وجود الماء. وهذه الطريقة الأخيرة لم تعد تستخدم لاستهلاكها الماء العذب و استهلاكها للطاقة اللازمة للتجفيف وزيادة التلوث. وشكل (2-1) يبين رسم تخطيطى للصناعة.



شكل (2-1) شكل تخطيطى لصناعة الأسمنت

وسنتناول في مايلي خطوات مختصرة عن صناعة الأسمنت:

1. التحجير:

حيث يتم تكسير الأحجار في المحجر ونقلها للمصنع حيث تكسر لقطع صغيرة.

2. طحن وتنعيم المادة الخام مفردة:

حيث يتم التكسير والطحن والتنعيم في طواحين ميكانيكية تحتوى على كرات من الصلب للوصول للتنعيم المطلوب.

3. طحن وتنعيم المواد مجتمعة معاً:

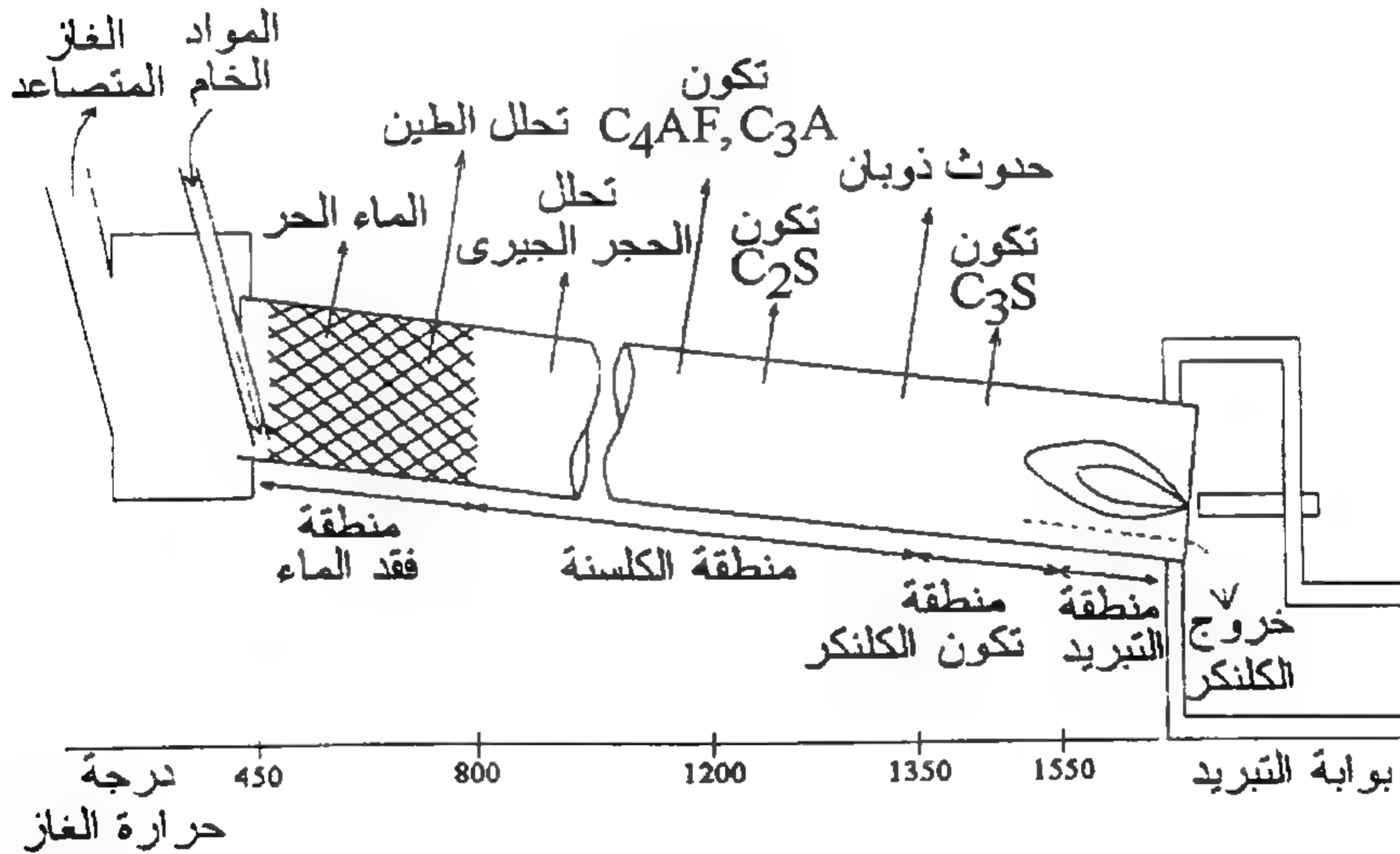
حيث يتم إدخال المواد الخام بالنسب المناسبة وخلطهم وتنعيمهم معاً.

4. تسخين المواد الخام:

يتم تسخين المادة الخام المخلوطة للتخلص من أى رطوبة سطحية.

5. عملية الحرق:

تتم عملية الحرق داخل الفرن الدوار، وهو فرن من الصلب المبطن بالطوب الحرارى وقطره حوالى 6 متر وطوله قد يصل إلى 180 متر، وهو مائل ويدور بسرعة قياسية، وتدخل الخامات من الجهة العلوية للفرن وتخرج من الجهة الأخرى (المنخفضة). وتتزايد درجة حرارة الفرن من 50 درجة مئوية عند المدخل وتصل لـ 1450 درجة مئوية عند نهاية منطقة الحرق. أما درجة حرارة غاز التسخين فتتراوح بين 450 درجة مئوية عند المدخل وتصل إلى 1550 درجة مئوية عند نهاية منطقة الحرق، انظر شكل (2-2).



شكل (2-2) قطاع يوضح مناطق الحرق بالفرن الدوار

ويمكن تلخيص ما يحدث داخل الفرن كما يلي:

أ- منطقة طرد الماء الحر (Evaporation):

فى بداية الفرن حيث يتم إدخال الخامات تكون درجة الحرارة أكبر من درجة الغليان، فيبدأ الماء الحر الموجود فى الخامات فى الصعود على هيئة بخار ماء.

## ب- منطقة الكلسنة (Calcinations):

ترتفع درجة الحرارة في منطقة الكلسنة ويبدأ الطين في التحلل لأكاسيده ، ثم ينبعث تحلل كربونات الكالسيوم (حجر جيرى) حيث يفقد ماء اتحاده وثانى أكسيد الكربون. تبدأ الأكاسيد في الاتحاد مع بعضها لتكون المركبات الأولية للأسمنت (ألومينات حديد رباعى الكالسيوم وألومينات ثلاثى الكالسيوم) ، وهذه المواد تساعد على تكوين المركبات الرئيسية للأسمنت عند نهاية منطقة الكلسنة ، وخاصة تكون سليكات ثلاثى الكالسيوم . ويمكن وصف تكون المركبات الأربعة الرئيسية للأسمنت كما يلى :

- يتحد كل أكسيد الحديد الموجود مع نسبة من الألومينا ونسبة من أكسيد الكالسيوم لتكون ألومينات حديد رباعى الكالسيوم . ثم يتحد ما تبقى من أكسيد الألومينا مع جزء من أكسيد الكالسيوم ، ويتكون ألومينات ثلاثى الكالسيوم . يتحد أكسيد السليكون مع جزء من أكسيد الكالسيوم ليتكون سليكات ثنائى الكالسيوم ، ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة وحدث ذوبان (Formation of Melt) يتحد جزء من سليكات ثنائى الكالسيوم مع جزء من أكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات ثلاثى الكالسيوم . ويتبقى جزء صغير من أكسيد الكالسيوم وأكسيد الماغنسيوم حر بدون اتحاد . ويسمى الأسمنت فى تلك الحالة بالكلنكر .

## ج- التبريد (Cooling):

فى نهاية الفرن يتم تبريد الكلنكر، وهو ذو لون رمادى وحبيباته تكون مثل الركام.

## 6. خلط الكلنكر بالجبس والطحن والتنعيم :

يتم إضافة الجبس بنسبة قياسية (حوالى 3.5% من وزن الأسمنت) إلى الكلنكر. ويتم طحنهما وتنعيمهما بحيث نحقق المساحة السطحية المطلوبة للأسمنت.

## 7. التخزين والتعبئة:

يعبأ الأسمنت فى أكياس قياسية لتحميه من الرطوبة، ووزن كل كيس 50 كجم فى المتوسط. ويمكن أن يخزن الأسمنت فى صوامع محكمة الغلق حتى يتم نقل الأسمنت للموقع فى عربات مغلقة.

## 2-4 أكسيد الأسمنت:

يتكون الأسمنت من أكاسيد الكالسيوم والسليكون والألومينا والحديد والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكبريت وجدول رقم (2-1) يحتوى على تلك الأكاسيد ونسبها الوزنية.

جدول (2-1) مثال تحليل كيميائى لأكاسيد الأسمنت البورتلاند العادى

الأكاسيد	الصورة المختصرة	الاسم الشائع	النسبة الوزنية المئوية
CaO	C	الجير	63.0
SiO <sub>2</sub>	S	السليكا	22.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	ألومينا	6.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	أكسيد الحديد	2.5
MgO	M	المغنيسيا	2.6
K <sub>2</sub> O	K	القلويات	0.6
Na <sub>2</sub> O	K	القلويات	0.3
SO <sub>3</sub>	S <sup>-</sup>	ثالث أكسيد الكبريت	2.0



## 5-2 مركبات الأسمنت:

كما سبق ذكره فإن الأسمنت يتكون من خمسة مركبات بعد صناعته وهي:

- (1) سليكات ثلاثي الكالسيوم  $C_3S$ .
- (2) سليكات ثنائي الكالسيوم  $C_2S$ .
- (3) ألومينات ثلاثي الكالسيوم  $C_3A$ .
- (4) ألومينات حديدي رباعي الكالسيوم  $C_4AF$ .
- (5) الحيس  $CSH_2$ .

وهذه المركبات ونسبها المختلفة هي التي تحدد نوع وخواص الأسمنت، وسوف يتم التعرف على ذلك لاحقاً. وجدول (2-2) يعطى مثلاً للنسب الوزنية للمركبات المختلفة داخل الأسمنت المعبأ أو السائب، ويعطى بالجدول الصيغة الكيميائية (Chemical Formula) والصيغة الكيميائية المختصرة التي تساعد المهندسين المدنيين والمعماريين على تفهم الموضوع بسهولة. والمركبات الرئيسية يمكن حسابها بعد تحليل الأسمنت كميائياً، ثم يتم التطبيق في معادلة Bogue والتي يمكن اختصارها في مايلي:

• الحالة الأولى.

عندما تكون نسبة الألومينا إلى الحديد  $0.64 \leq$

$$A/F \geq 0.64 \quad (2-1) \dots\dots\dots$$

جدول (2-2) مثال بنسب تكوين المركبات الأربعة في الأسمنت البورتلاندي العادي (\*1) ومنخفض الحرارة (\*2) وسريع التصلد (\*3)

% للمحتوى بالوزن لأنواع مختلفة من الأسمنت			الصيغة المختصرة	الصيغة الكيميائية
* 3	* 2	* 1		
73	33	65	$C_3S$	$3CaO.SiO_2$
2	38	8	$C_2S$	$2CaO.SiO_2$
7	15	14	$C_3A$	$3CaO.Al_2O_3$
14	10	9	$C_4AF$	$4Ca.Al_2O_3.Fe_2O_3$

يتم التطبيق في المعادلات من 2-2 إلى 5-2 بمحتويات الأكاسيد للحصول على المركبات

$$C_3S = 4.071C - 7.600S - 6.718A - 1.430F - 2.852S \quad (2-2) \dots\dots\dots$$

$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S \quad (3-2) \dots\dots\dots$$

$$C_3A = 2.650A - 1.692F \quad (4-2) \dots\dots\dots$$

$$C_4AF = 3.043F \quad (5-2) \dots\dots\dots$$

• الحالة الثانية:

عندما تكون نسبة الألومينا إلى الحديد  $0.64 >$  نطبق في المعادلات التالية :

$$A/F < 0.64 \quad (6-2) \dots\dots\dots$$

$$C_3S = 4.071C - 7.6S - 4.479A - 2.859F - 2.852S' \quad (7-2) \dots\dots\dots$$

$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S \quad (8-2) \dots\dots\dots$$

$$C_3A = 0.0 \quad \dots\dots\dots (9-2)$$

$$C_4AF \approx 2.100A + 1.702F \quad \dots\dots\dots (10-2)$$

## 6-2 إماهة الأسمنت وتأثير مركبات الأسمنت على خواص الأسمنت:

### Cement Hydration & Effect of Cement Compounds on Cement Properties:

عند إضافة ماء الخلط للأسمنت تبدأ المركبات في الاتحاد مع الماء. ولتسهيل تتبع عمليات التفاعل سنفترض أن كل مركب سيتحد مع الماء على حده وهو فرض مشكوك في صحته.

#### 1-6-2 إماهة سليكات الكالسيوم:



سليكات ثلاثي الكالسيوم + 6 جزيئات ماء ← سليكات الكالسيوم المماهة (جل الأسمنت) + 3 جزيئات هيدروكسيد الكالسيوم (الجير) + حرارة مرتفعة



سليكات ثنائي الكالسيوم + 4 جزيئات ماء ← سليكات الكالسيوم المماهة (جل الأسمنت) + هيدروكسيد كالسيوم + حرارة ضعيفة

يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن اتحاد سليكات الكالسيوم بنوعيه ينتج سليكات كالسيوم مماهة (C-S-H). وهذه المادة في مراحلها الأولى تكون لدنة، وهي مادة جيلائينية مثل الغراء، وهي عند صب الخرسانة أو تناول المونة تساعد على حسن تشغيل الخرسانة أو المونة وبمرور الوقت تبدأ هذه المادة في التصلب وتتلاحم مع بعضها أو مع الرمل أو الركام ، وبمرور الوقت تنتج مونة أو خرسانة متصلة قوية جدا. وهذه المادة (C-S-H) مادة ضعيفة التبلور ولكنها تتميز بالثبات الكيميائي حيث أنها لا تهاجم إلا بملح كبريتات الماغنسيوم . وهذه المادة هي المساهم الحقيقي في إكساب الخرسانة أو المونة الأسمنتية مقاومتها. ويلاحظ أن سليكات ثلاثي الكالسيوم تكون أسرع في التفاعل ، وهي المسئولة عن المقاومة المبكرة. والحرارة المنبعثة من امائها عالية لذلك يجب الاهتمام بالمعالجة برش الماء المبكر، ولذلك تزيد نسبة  $C_3S$  في الأسمنت سريع التصلد (انظر جدول 2-2). أما سليكات ثنائي الكالسيوم فتفاعله بطيء والحرارة المنبعثة منه ضعيفة ، لذلك فهو يساعد في المقاومة المتأخرة للأسمنت ، ولهذا السبب تزيد نسبته في الأسمنت منخفض الحرارة (انظر جدول 2-2).

من المعادلة (11-2)، (12-2) يتضح أن إماهة سليكات الكالسيوم ينتج عنها الجير (هيدروكسيد الكالسيوم CH) ، وهو عبارة عن مادة جيدة التبلر وبلوراتها تكون كبيرة يمكن تمييزها بسهولة بالميكروسكوب العادي أو الضعيف ، وبلورته عبارة عن منشور مثنى المقطع. ومن فضل الله الذي قدر اكتشاف الأسمنت عندما احتاجه الإنسان وجود مادة CH التي تحفظ للخرسانة وسط قلوي درجة قلويته (PH) تساوي 13، وهذا الوسط القلوي هو الذي يحفظ صلب التسليح بدون صدأ، ولا يحدث الصدا إلا عندما تفقد الخرسانة قلويتها نتيجة تفاعل CH بمواد كيميائية خارجية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون كما سيذكر بالتفصيل في باب التحميلة .

## 2-6-2 إماهة ألومينات ثلاثى الكالسيوم:

هذا المركب شره للاتحاد مع الماء، وإذا لم يضاف الجبس للأسمنت فإن الأسمنت سوف يشك سريعاً. ولذلك فإن  $C_3A$  يتحد مع الجبس والماء، ويأخذ هذا التفاعل وقتاً يسمح بتشغيل مونة الأسمنت أو الخرسانة، ويتم هذا التفاعل كما يلي:

- أولاً: فى حالة وجود كمية صغيرة من  $C_3A$ .



سليكات ثلاثى الكالسيوم + جبس + ماء —————> إترنجيت + حرارة عالية

ومادة الإترنجيت (كبريتات الكالسيوم الألومينية المماهة) هى مادة متبلرة على هيئة منشور مقطعه ثمانى ، ولكن نسبة طول المنشور للقطر كبيرة جداً إذا ما قورن ببلورات  $CH$ ، ولذلك تظهر مثل الإبر. وهى بلورات ليست كبيرة بحيث يصعب مشاهدتها تحت الميكروسكوب العادى.

- ثانياً: فى حالة وجود كمية كافية من  $C_3A$ .

يتحد الإترنجيت المتكون من الاتحاد السابق بالمعادلة السابقة مع جزء آخر من  $C_3A$  وينتج مركب السلفوألومينات.

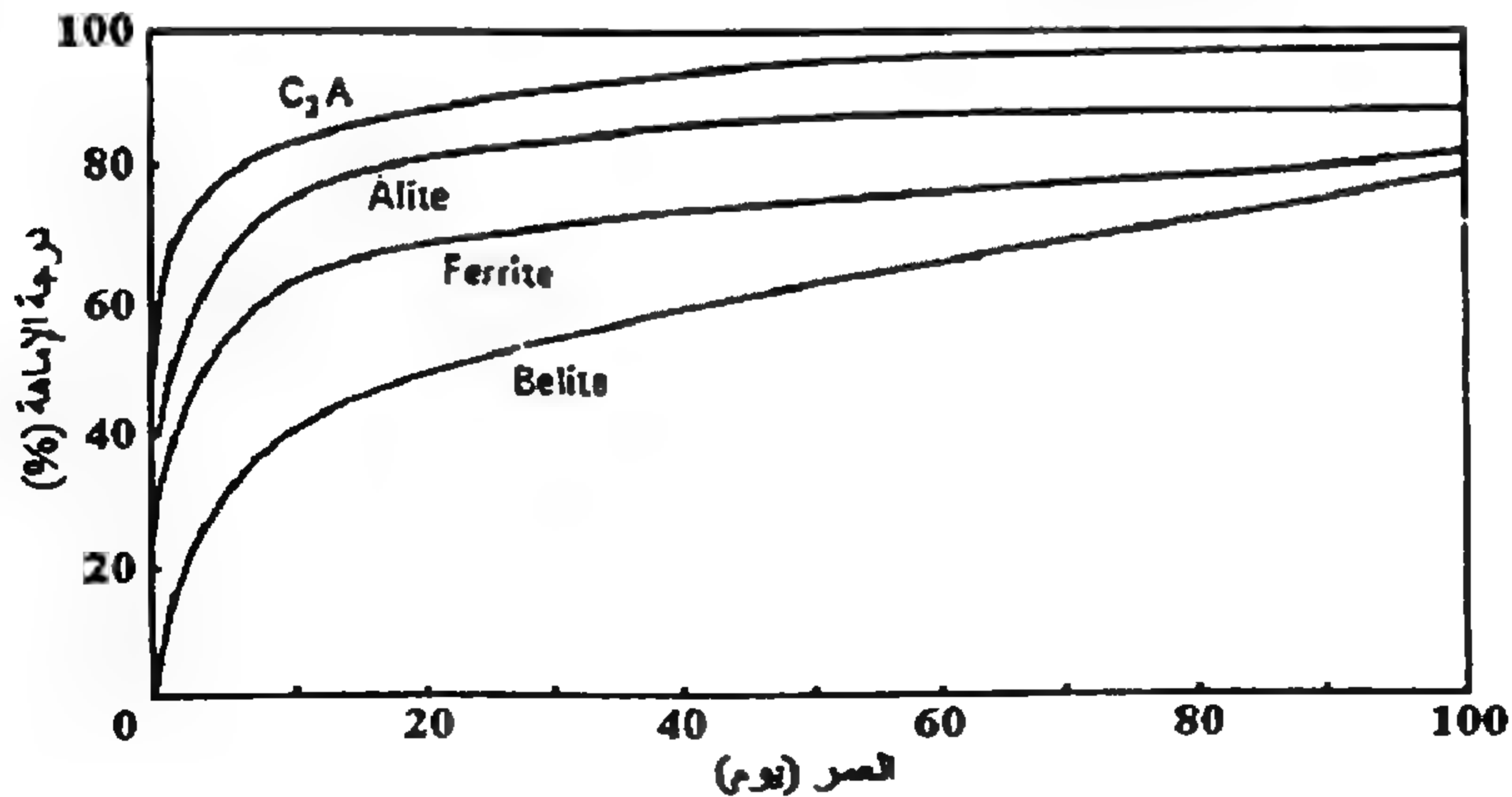


أما  $C_4AF$  فيتحد مع الجبس والماء ويعطى مركبات لا تؤثر كثيراً على خواص الأسمنت

## 2-6-3 تأثير نواتج إماهة الاسمنت على معدلات التفاعل وعلى مقاومة الضغط:

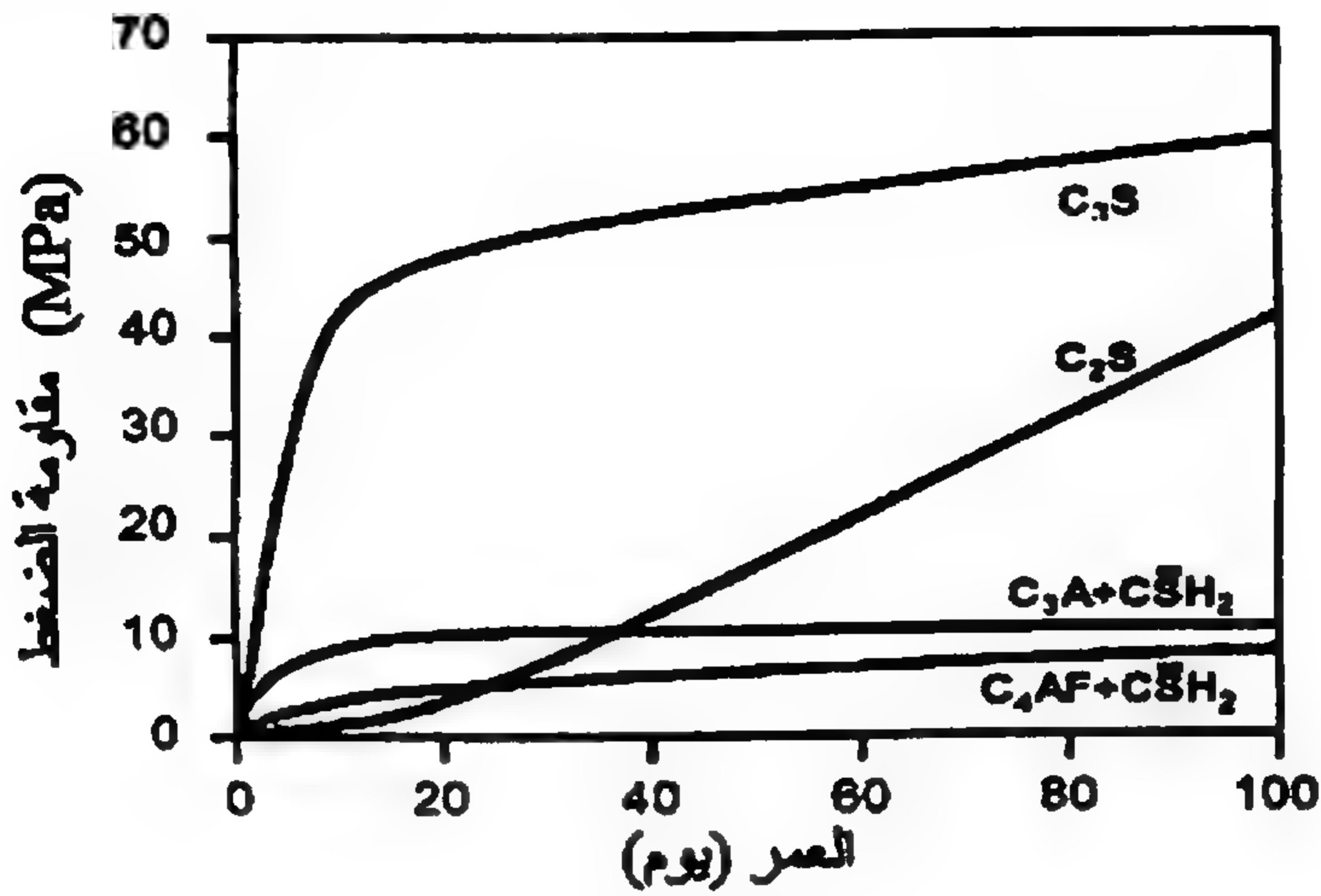
### Effect of Cement Hydration Products on Rate of Hydration and Compressive Strength:

شكل (2-3) يوضح معدل إماهة مركبات الأسمنت البورتلاندى العادى، والذي يتضح منه أن ألومينات ثلاثى الكالسيوم هو أكثرهم إماهة مع الجبس والماء يليه  $Alite (C_3S)$  يليه  $Ferrite (C_4AF)$  يليه  $Belite (C_2S)$ .



شكل (2-3) معدل إماهة مركبات الأسمنت

أما شكل (2-4) فيوضح مساهمة كل مركب في مقاومة الضغط، والذي يتضح منه أن  $C_3A$  ,  $C_3S$  هما المؤثران في المقاومة المبكرة للأسمنت (من ثلاثة إلى أربعة أسابيع).

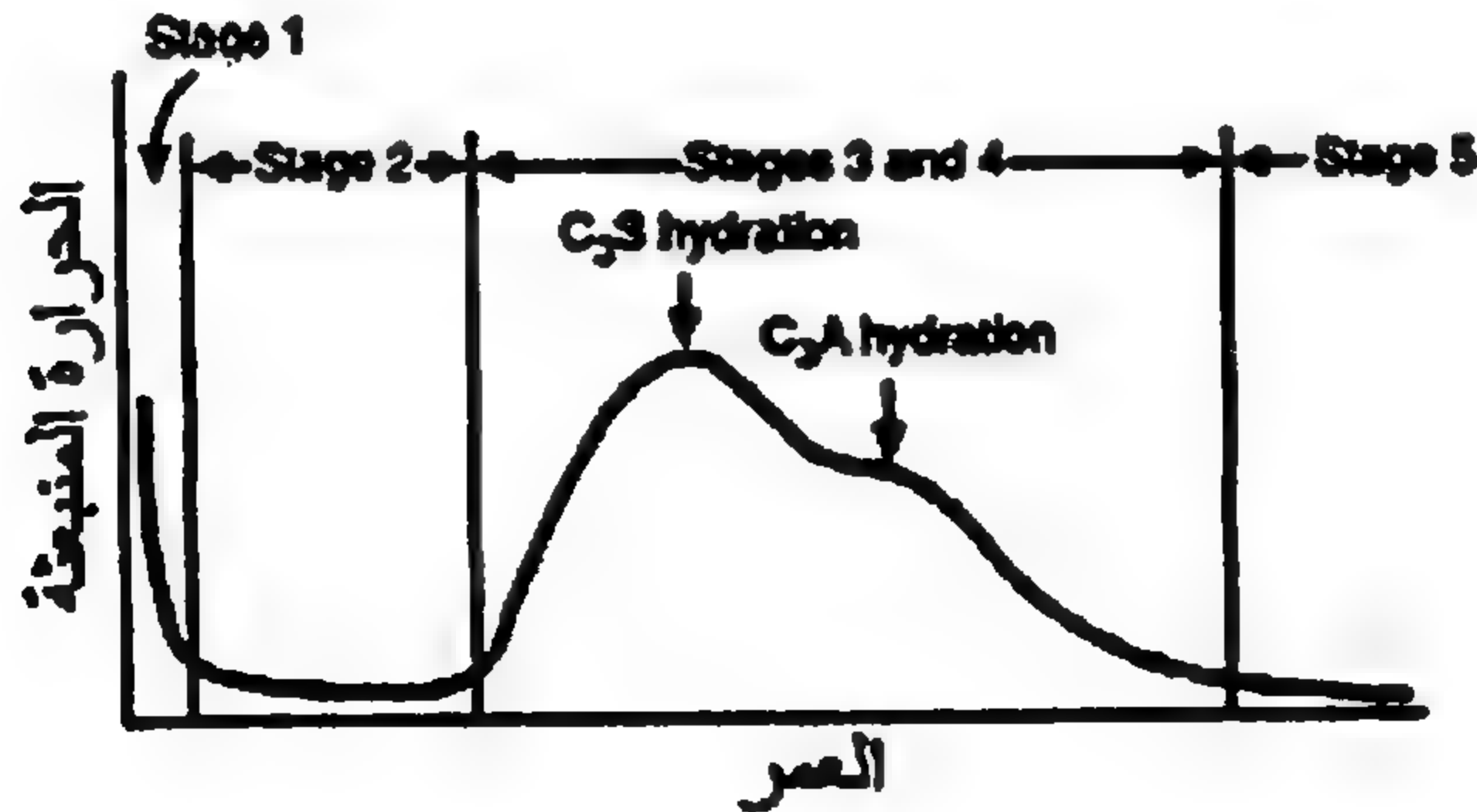


شكل (2-4) مساهمة المركبات المختلفة للأسمنت في مقاومة الضغط

أما  $C_2S$  فيؤثر على المقاومة في المدى البعيد. وعموماً فإن المقاومة القصوى للأسمنت يتشارك فيها  $C_2S$  ,  $C_3S$  مناصفة.

## 2-6-4 درجة حرارة الإماهة (Heat of Hydration):

مما سبق يتضح أن إماهة الأسمنت ينتج حرارة. وتكون الحرارة الناتجة من إماهة  $C_3A$  ,  $C_3S$  مرتفعة، ويمكن تقدير كمية الحرارة المنبعثة خلال سنة لكل من  $C_3S$  ,  $C_3A$  ,  $C_2S$  ,  $C_4AF$  بـ 490، 225، 1340، 660 جول/جم على الترتيب. وشكل (2-5) يوضح العلاقة بين معدل انطلاق الحرارة والزمن المار من لحظة الخلط.



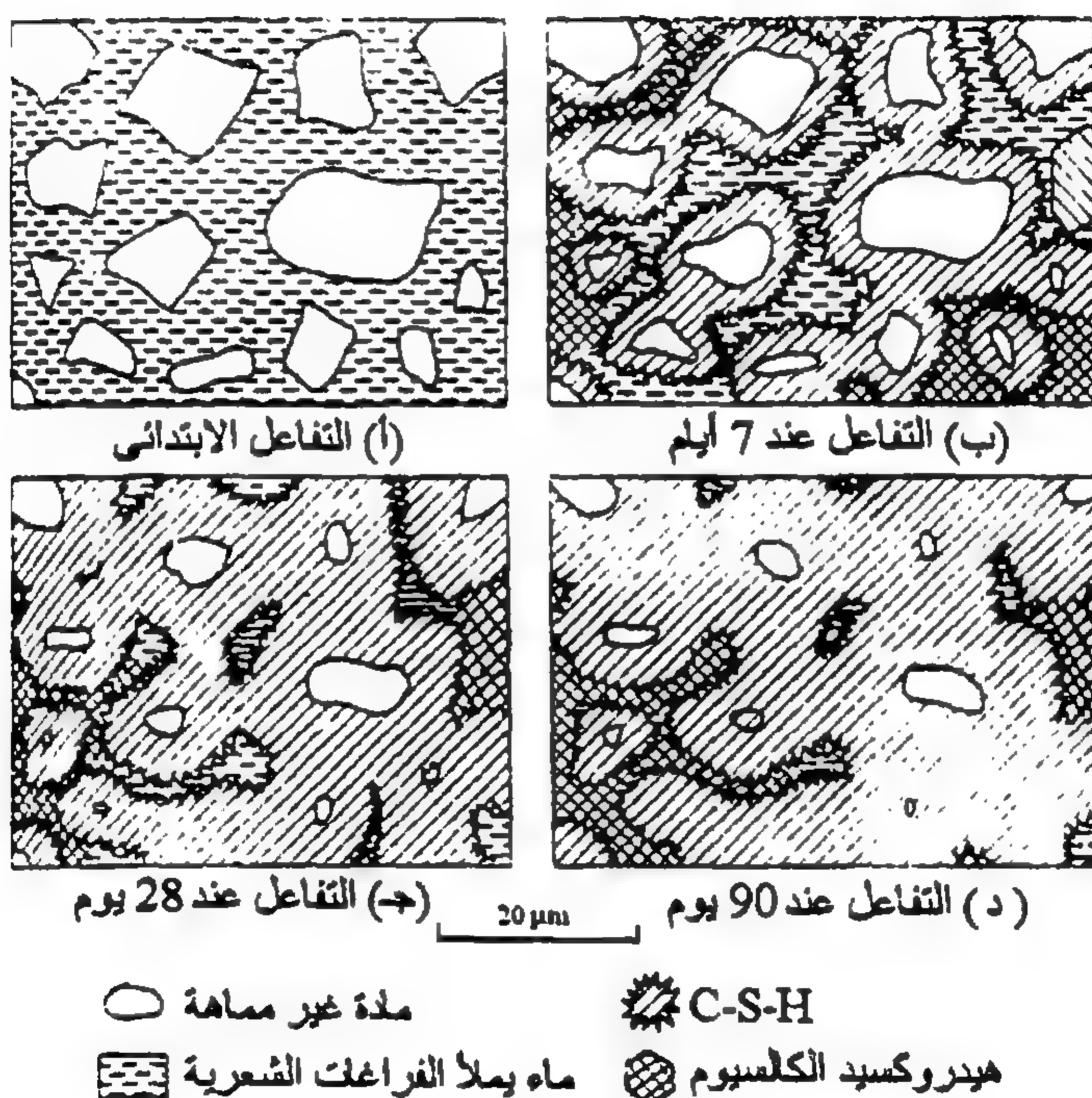
شكل (2-5) العلاقة بين معدل انطلاق الحرارة والزمن



ويلاحظ من الشكل السابق أن ارتفاع درجة الحرارة في المرحلة الأولى والثانية والتي تكون في الساعات الأولى (صفر - 4 ساعات) من الخلط لا ينتج عنها أية خطورة إنشائية. أما الحرارة في المرحلة الثالثة والرابعة والتي ترتفع فيها درجة الحرارة نتيجة إماهة  $C_3S$ ،  $C_3A$  ويحدث خلالها الشك النهائي قد تؤدي إلى ظهور شروخ بالمونة أو الخرسانة. ولذلك يجب الاهتمام بمعالجة الخرسانة والعمل على تخفيض درجة الحرارة في الأجواء الحارة ، بإضافة ثلج أو تخفيض درجة حرارة ماء الخلط بحيث تنخفض درجة الحرارة في المراحل المختلفة.

## 2-6-5 ميكانيكا الإماهة والتصلب (Hydration Mechanism and Hardening):

عند إضافة الماء للأسمنت يكون الأسمنت في حالة عدم إماهة في وسط من ماء الخلط (انظر شكل 2-6)، ومع مرور الزمن يتكون الجل C-S-H وهيدروكسيد الكالسيوم والنواتج الأخرى ، ثم يحدث الشك والتصلب.

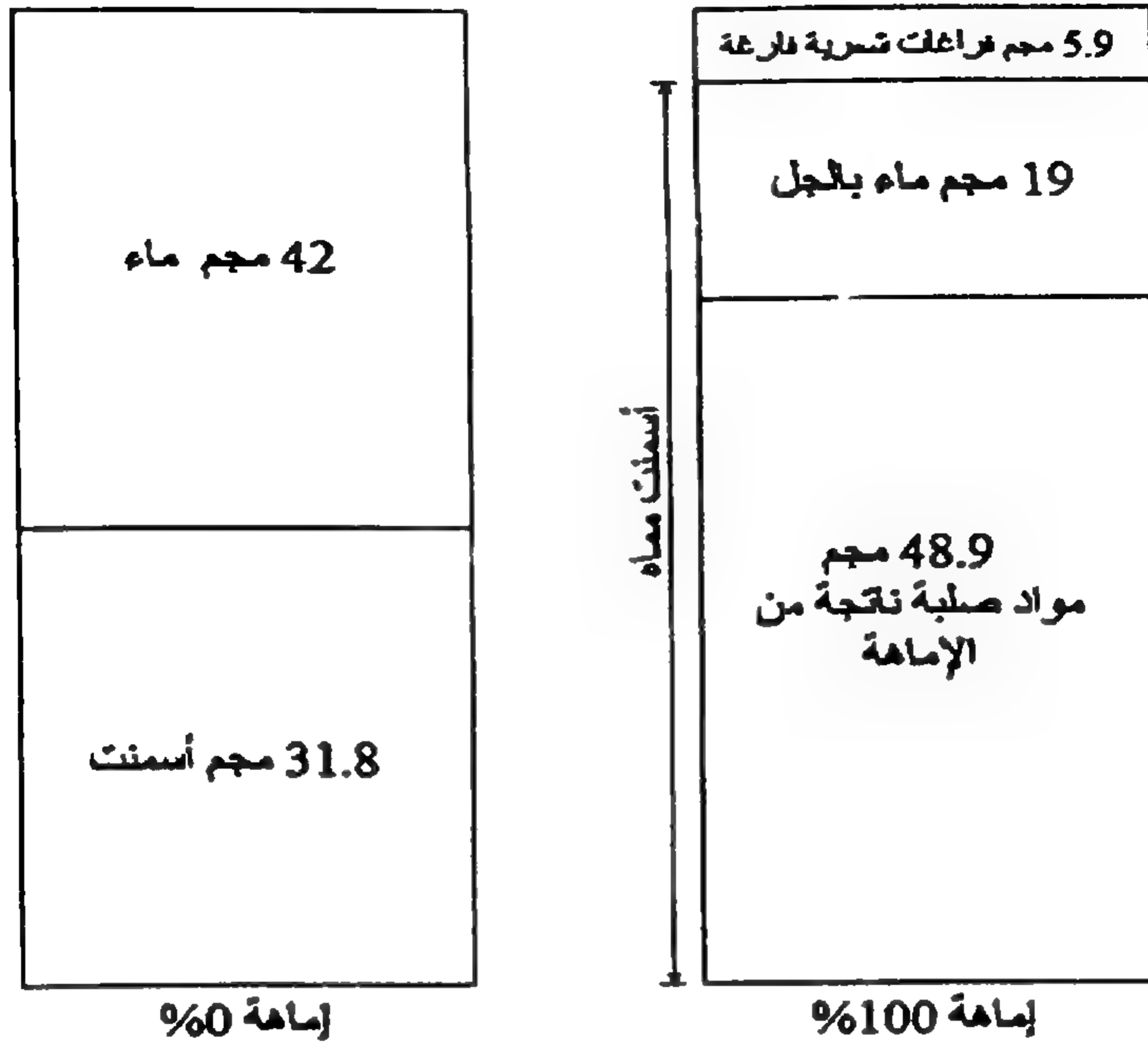


شكل (2-6) علاقة تخطيطية توضح تطور التركيب البنائي لإماهة الأسمنت

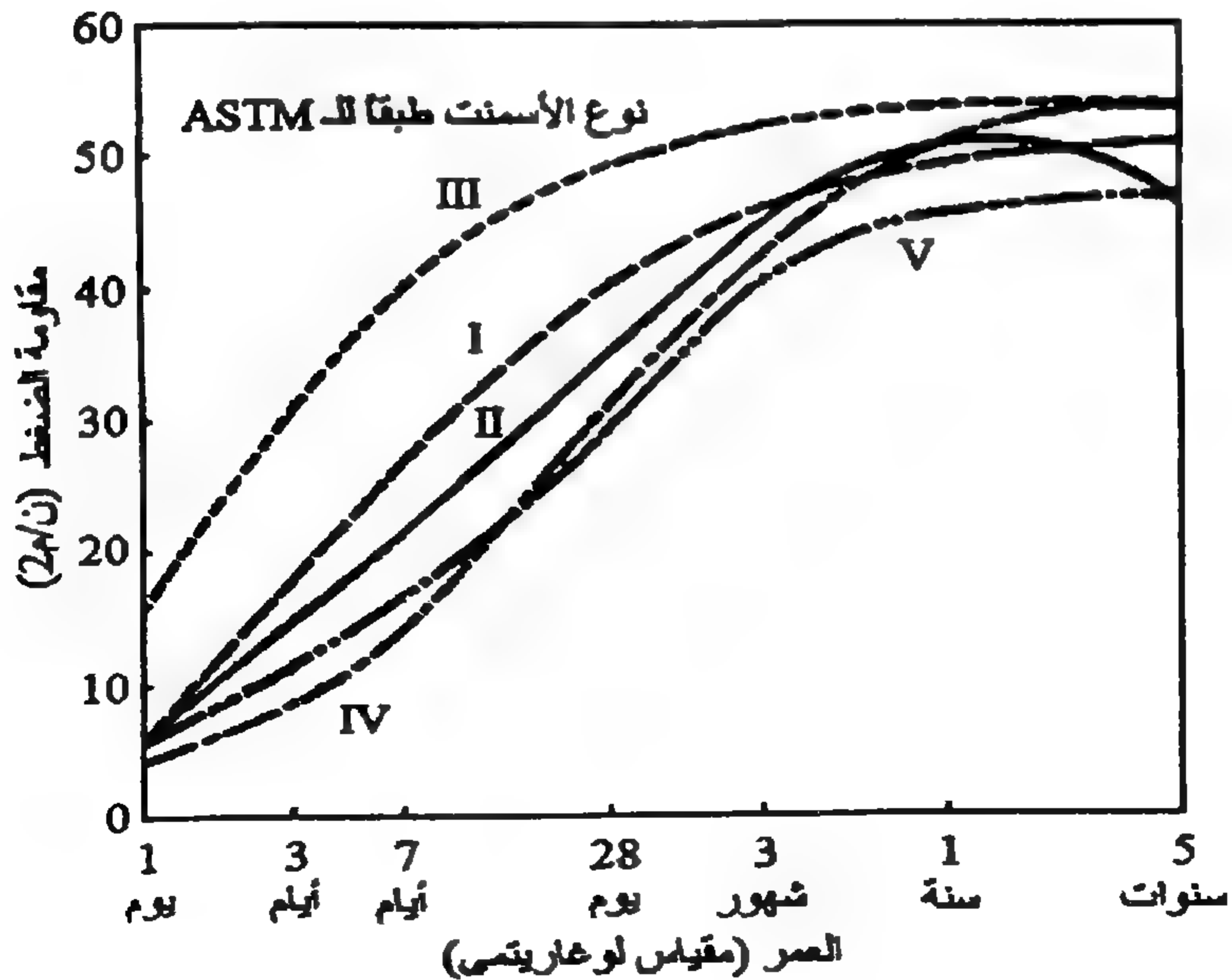
إن الجل يكون حجمه أكبر من حجم الأسمنت الأصلي (انظر شكل 2-7)، حيث يزيد حجم الأسمنت من 31.8 مليلتر إلى 48.9 مليلتر، ويحدث ذلك في الأسطح الخارجية لحبيبات الأسمنت.

ومع مرور العمر تتفاعل أجزاء أخرى من الأسمنت ، وينتشر الجل الجديد مخترقاً المسارات الشعرية الموجودة في الجل المتصلد، وتملأ الفراغات الموجودة بين الركام. ومادام هناك قليل من الماء موجود في الخرسانة يستمر تكون الجل. وشكل (2-6) (ب) ثم (ج) ثم

(د) يوضح كيفية زيادة C-S-H مع زيادة العمر. وأثبتت الأبحاث ان عملية تكون الجل تظل حتى عدة سنوات، انظر شكل (2-8)، وبالتالي تتحسن مقاومة عجينة الأسمنت مع الزمن ما دامت العجينة محفوظة من أية مهاجمات خارجية.



شكل (2-7) حجم الجل



شكل (2-8) العلاقة بين مقاومة الضغط و العمر لأنواع مختلفة من الأسمنت

## 2-7 الخواص الفيزيائية للأسمنت (Physical Properties of Cement):

### 2-7-1 نعومة الأسمنت (Fineness of Cement):

بعد الحصول على كلنكر الأسمنت من الفرن الدوار يتم طحن الأسمنت مع الجبس لتنعيمه. ومن المهم معرفة أن نعومة الأسمنت لها دور كبير في التأثير على خواص عجينة الأسمنت ، فكلما زادت النعومة يقل قطر حبيبة الأسمنت وتزيد المساحة السطحية للأسمنت. وفي مايلي نوضح تأثير نعومة الأسمنت على خواصه:

- (1) زيادة النعومة تزيد من معدل الإماهة وتزيد الحاجة للجبس للتحكم في شك الأسمنت، فتزيد كمية الجل المتكون فتتحسن المقاومة المبكرة.
- (2) زيادة النعومة تزيد من درجة الحرارة المنبعثة ، فيجب الاهتمام بمعالجة مونة الأسمنت والخرسانة.
- (3) يسهل إماهة الحبيبة الناعمة عن الحبيبات الخشنة.
- (4) الأسمنت الناعم يحتاج لماء خلط أكبر لذلك يزيد الانكماش.
- (5) زيادة النعومة تحسن من الثبات الحجمي للأسمنت (يقل التمدد الناتج عن الأكاسيد الثانوية).

وللتعبير عن النعومة يتم قياس نسبة المواد الخشنة في الأسمنت، إما بالنخل على منخل رقم 170 (مواصفات مصرية 373-1991) ، أو بالنخل على منخل رقم 200 . وفي المواصفات المصرية يجب ألا تزيد النسبة المئوية للمحجوز على منخل 170 عن 5 ، 10% لكل من الأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت سريع التصلد على الترتيب. أما بالنسبة للـ ASTM فإنه يجب ألا تزيد نسبة المحجوز على منخل 200 عن 20% للأسمنت. وتوجد طريقة أخرى للتعبير عن النعومة عن طريق قياس المساحة السطحية بالسم<sup>2</sup> للجرام ، وذلك باستخدام طريقة واجنر (Wagner Turbid Meter) (ASTM C115)، والتي تقيس المساحة بقياس كثافة ضوء يمر على محلول من الأسمنت والكبروسين من خلال خلية ضوئية كهربائية (Photoelectric Cell). وتوجد طريقة Blain Air Permeability Apparatus فى المواصفات البريطانية BS 4550، وذلك لقياس المساحة السطحية للأسمنت ( $S_c$ ) عن طريق إمرار تيار من الهواء القياسى (تحت ضغط قياسى) خلال عينة قياسية من الأسمنت ، وتحديد الزمن اللازم لنفاذ هذا الهواء خلال عينة الأسمنت ، وكلما زاد هذا الزمن ( $t_c$ ) دل ذلك على زيادة نعومة الأسمنت.

$$S_c = \alpha \sqrt{t_c} \quad \text{..... (2-15)}$$

### 2-7-2 قوام العجينة القياسية:

#### Consistency of Standard Paste (ASTM C187):

إن محتوى الماء يؤثر تأثيراً مباشراً على زمن شك الخرسانة وعلى ظاهرة الثبات الحجمى. لذلك يجب أن يستخدم المهندس قوام ثابت لعجينة الأسمنت (أسمنت وماء) وهذا القوام يتحقق بنسبة ماء الى الإسمنت قياسيه ويطلق على محتوى الماء ذلك بالماء القياسى . ويعرف الماء القياسى بأنه النسبة المئوية الوزنية للماء منسوباً لوزن الأسمنت، والذي يسمح لاسطوانة فيكات قطر 10 مم والتي وزنها 300 جم باختراق سطح العجينة الأسمنتية الموضوعة فى مخروط ناقص ارتفاعه 40 مم مسافة قدرها  $1 \pm 35$  مم من قمة المخروط (تخترق الاسطوانة قالب العجينة لمسافة  $1 \pm 5$  مم من قاع القالب)، يُرجع لمنحى التجارب فى نهاية الباب. وتتراوح نسبة المياه القياسية طبقاً لنوع الأسمنت بين 25 ، 31 %.



## 2-7-3 شك الأسمنت (Setting of Cement):

### 2-7-3-1 عام:

عند إضافة الماء للأسمنت تكون العجينة الأسمنتية لدنة قابلة للتشكل مثل الغراء، ومع مرور الوقت تبدأ العجينة في فقد لدونتها. وعندما تفقد العجينة لدونتها وتبدأ في الشك (Setting) يقال أن الأسمنت قد شك ابتدائياً. ومع مرور الزمن تبدأ العجينة في التصلب، وعندما تستطيع العجينة تحمل إجهادات ضغط خارجية صغيرة يقال أنها قد شكت شكاً نهائياً. ويجب تحديد زمن الشك الابتدائي الذي يجب أن لا يقل عن 45 دقيقة حتى يسهل تشغيل المونة الأسمنتية وصب الخرسانة. ويتراوح هذا الزمن بين 2.00، 3.50 ساعة.

ويجب ألا يزيد زمن الشك النهائي عن 10 ساعات حتى يمكن فك الشدات والقوالب مبكراً (ويتراوح هذا الزمن في الواقع بين 5-8 ساعات). ويحدد زمن الشك عملياً بواسطة جهاز فيكات كما هو وارد في الملحق العملي في نهاية الباب.

وطبقاً لاختبار فيكات يعرف زمنى الشك كمايلي :

- زمن الشك الابتدائي: هو الزمن من لحظة إضافة الماء القياسي للأسمنت وحتى اختراق إبرة فيكات بقطر 1 مم عجينة الأسمنت القياسية لمسافة 35 مم من قمة المخروط الناقص (5 مم من القاع).

- زمن الشك النهائي: هو الزمن من لحظة إضافة الماء القياسي للأسمنت وحتى اختراق إبرة فيكات بقطر 1 مم عجينة الأسمنت القياسية لمسافة 0.5 مم من قمة المخروط (أي حتى اختفاء أثر الجزء الدائري).

### 2-7-3-2 العوامل المؤثرة على الشك:

توجد عدة عوامل تؤثر على شك الأسمنت منها:

- (1) كلما زادت درجة الحرارة المحيطة يقل زمن الشك.
- (2) كلما زاد محتوى الماء المضاف للأسمنت يزيد زمن الشك.
- (3) درجة الحرق (التكلس) للأسمنت: حيث يقل زمن الشك مع زيادة درجة الحرق.
- (4) ومن المهم أن يكون هناك تناسب بين نسبة  $C_3A$ ، ونسبة ثالث أكسيد الكبريت المعبر عن الجبس وذلك للتحكم في زمن الشك، كما هو مبين بجدول رقم (2-3).

جدول (2-3) نسبة ثالث أكسيد الكبريت

نوع الأسمنت (Type)	عادي I	معدل II	سريع III	منخفض الحرارة	مقاوم للكبريتات
$C_3A \leq 8\%$	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
$C_3A > 8\%$	3.5	—	4.5	—	—

### 2-7-4 عدم الثبات الحجمي (Unsoundness):

إن الأسمنت بعد تصلبه يكون مبانى خرسانية أو حوائط من الطوب. ونظراً لوجود الجير الحى والماغنسيوم فى الأسمنت فإنه يحدث تفاعل لتلك الأكاسيد مع ماء الخلط بعد تصلب الخرسانة أو المونة، وتحدث تفاعلات تؤدي إلى زيادة حجمية للخرسانة أو للمونة. وعندما تكون تلك الزيادة كبيرة تتولد شروخ، وقد تظهر هذه الشروخ بعد مرور عدة أشهر، وتسمى هذه الزيادة بعدم الثبات الحجمي للأسمنت. ولوحظ أن الأسمنت الناعم يساعد على سرعة تفاعل الجير للحر والماغنسيوم الحر عند خلط الخرسانة، وبالتالي يحسن من الثبات الحجمي



فى المراحل اللاحقة. ويزيد عدم الثبات الحجمى كلما زادت نسبة الجير والماغنسيوم وناتج تفاعل  $C_3A$  مع الجبس .

ولكى يتأكد المهندس من عدم حدوث زيادة حجمية كبيرة نتيجة استخدام الأسمنت يلجأ لاختبار الثبات الحجمى للأسمنت . وتستخدم دولياً إحدى طريقتين هما طريقة لوشاتلييه وطريقة الأوتوكلاف. وتعتمد الطريقة الأولى (لوشاتلييه) على صب اسطوانة بعجينة قياسية للأسمنت، وبعد مرور 24 ساعة يتم تعريضها للغليان حتى يتم دفع الجير الحى للتفاعل، ويتم قياس الزيادة فى قطر الاسطوانة. أما طريقة (الأوتوكلاف) فيتم صب منشور من العجينة القياسية للأسمنت، وبعد مرور 24 ساعة يتم وضعها فى الأوتوكلاف وتعريضها لضغط بخار مقداره 2 ميجا باسكال ثم تبرد ويقاس الزيادة فى طول المنشور للحكم على الزيادة الحجمية (انظر ملحق العمل). ويجب استخدام الأوتوكلاف إذا زادت نسبة أكسيد الماغنسيوم عن 4%، والذي يجب ألا يزيد عن 5% فى بعض أنواع الأسمنت ، واستخدام ضغط بخار ضرورى لدفع أكسيد الماغنسيوم للتفاعل.

## 2-8 مقاومة الضغط لمونة الأسمنت:

### Compressive Strength of Cement Mortar:

تمثل مقاومة الضغط العامل الأساسى لخواص الأسمنت ، لأن الخرسانة والمونة الأسمنتية تستخدم أساساً لتحمل إجهادات الضغط. وتتوقف مقاومة الأسمنت للضغط على عدة عوامل منها:

- 1) هل سيجرى الاختبار لعجينة الأسمنت أم لمونة الأسمنت أم للخرسانة.
  - 2) زيادة نعومة الأسمنت تحسن من المقاومة المبكرة.
  - 3) كلما زادت درجة حرق الكلنكر تتحسن مقاومة الضغط.
  - 4) كلما زاد عمر الأسمنت المُمَاه تتحسن المقاومة.
  - 5) زيادة نسبة الماء للأسمنت تقلل من مقاومة الضغط.
  - 6) كلما زادت فترة تخزين الأسمنت تقل مقاومة الضغط.
  - 7) زيادة نسبة الرمل للأسمنت تقلل المقاومة .
- وتستخدم كل المواصفات العالمية مونة الأسمنت لتحديد مقاومة الضغط. تستخدم مواصفة ASTM C109 مكعبات مقاسها 50 مم ونسبة رمل أوتوا إلى الأسمنت 1: 2.75 بالوزن ونسبة ماء إلى أسمنت قدرها 0.485.
- المواصفة ASTM C3499 تحدد مقاومة المونة باختبار منشور  $160 \times 40 \times 40$  مم فى الانحناء وتؤخذ العينتين المنفصلتين فى الانحناء، ويتم اختبارهما فى الضغط باستخدام لوحين ارتكاز مقاسهما  $50.8 \times 40.32$  مم، وتحسب مقاومة الضغط للأسمنت ( $f_c$ ) كما يلى:

$$f_c = 0.62P \quad (Kg/cm^2)$$

حيث P حمل كسر للعينة المنشورية بالنيوتن

وتستخدم BS 4550 والمواصفات المصرية 373-1991 مكعبات ذات مقاس 70.7 مم ومونة أسمنتية تتكون من  $W/C = 0.40$  ونسبة رمل قياسي إلى أسمنت قدرها 3: 1 بالوزن، وتستخدم مواصفة BS 4550 أيضاً مكعب مقاس 100 مم لخرسانة لها نسبة ماء لأسمنت 0.60 ونسبة ركام كبير لركام صغير قياسية، وهذا للحصول على مؤشر لمقاومة الخرسانة فى الضغط (انظر الملحق العمل).

## 2-9 أنواع الأسمنت (Types of Cement):

يُنتج الأسمنت خلال العالم طبقاً لمواصفات وتقسيمات مختلفة. ولكن يمكن إجمال الأنواع العامة للأسمنت في:

- أسمنت بورتلاند عادي يستخدم في أكثر من 90% من المواقع وأسمنت سريع التصلد وأسمنت مقاوم للكبريتات وأسمنت منخفض الحرارة وأسمنت بوزولاني وأسمنت مخلوط وأسمنت خبث.

## 2-9-1 تقسيم هيئة اختبار المواد الأمريكية ASTM لأنواع الأسمنت:

جدول (2-4) يحتوي على الخمسة أنواع الرئيسية في تقسيم الـ ASTM والاسم الشائع لها في مصر.

ويلاحظ أن الأسمنت رقم I يمثل الأسمنت العادي والذي يستخدم في المنشآت التي لا يتطلب إنشائها متطلبات خاصة أو لا تتعرض لمهاجمات كيميائية. والأسمنت رقم II به نسبة  $C_3A$  متوسطة بالإضافة إلى أن هذا الأسمنت حرارته منخفضة نسبياً لذلك يستخدم في حالة وجود نسبة كبريتات متوسطة (Moderate) ويمكن استخدامه في حالة عدم توفر أسمنت الخبث عند تعرض الخرسانة المسلحة لمهاجمة مزدوجة من الكلوريدات والكبريتات.

جدول (2-4) الأنواع الخمسة الرئيسية للأسمنت في ASTM

رقم الأسمنت	I	II	III	IV	V
الاسم الشائع في مصر	عادي	معدل	سريع التصلد	منخفض الحرارة	مقاوم للكبريتات
الاستخدام	في الظروف الطبيعية	مهاجمة كبريتات متوسطة	الإنشاء السريع	المنشآت الكتلية	مهاجمة الكبريتات
التركيب الكيميائي *	50	45	60	25	40
	25	30	15	50	40
	12	7	10	5	4
	8	12	8	12	10
	5	5	5	4	4
النعومة (بلين م <sup>2</sup> /كجم)	350	350	450	300	350
مقاومة الضغط عند عمر يوم (ن/مم <sup>2</sup> )	7	6	14	3	6
حرارة إمائه عند 7 أيام (جول/مم)	330	250	500	210	250

\* قيم استرشادية متوسطة

والأسمنت رقم III نسبة  $C_3S$  فيه عالية ، ونعومته عالية لذلك تكون مقاومته المبكرة عالية وحرارة إمائه عالية، لذلك يستخدم عندما نريد فك الشدات مبكراً أو للإنشاء السريع ولصب خرسانة سابقة الصب في المصانع. ويجب الاهتمام بالمعالجة المبكرة والسيطرة على حرارة الخرسانة. ويجب ألا يستخدم هذا الأسمنت في الخرسانة الكتلية أو ذات السمك الكبير (سمك متوسط 0.50 متر) أو في المنشآت التي يحدث فيها تغيير كبير في القطاعات الخرسانية المختلفة.

والأسمنت رقم V هو أسمنت مقاوم للكبريتات يتميز بانخفاض نسبة  $C_3A$  حيث تقل نسبة المونوسلفوألومينات. فإذا ما هاجمت الكبريتات الخارجية الخرسانة يقل تأثير المهاجمة وتقل التمددات الحجمية والشروخ. وتتص مواصفة ASTM C150 على ألا تزيد قيمة  $C_3A$  عن 5% (تتص المواصفات المصرية 583-1993 على ألا تزيد نسبة  $C_3A$  عن 3.5%)، ويجب ألا تزيد نسبة  $(2C_3A + C_4AF)$  عن 20% من وزن الأسمنت ولا يزيد محتوى الماغسيوم عن 6%. بينما تطلب مواصفة BS 4027:1980 على ألا يزيد  $C_3A$  عن 3.5% من وزن الأسمنت. ومن المهم لفت النظر إلى أن نقص  $C_3A$  قد يؤدي لخفض المقاومة المبكرة، لذلك يجب الاهتمام بالخرسانة عند استخدام إضافات مؤجلة للشك، بحيث تستخدم الجرعة المناسبة وإلا فإن الخرسانة لن تشك. ويصنع هذا الأسمنت بإضافة مادة خام تزيد من عنصر الحديد (مثل بيريت الحديد) لكي تزيد من نسبة  $C_4AF$  وتقل نسبة  $C_3A$ .

الأسمنت رقم IV هو أسمنت منخفض الحرارة، ويتميز بزيادة نسبة السليكا وانخفاض نسبة الكالسيوم، ولذلك تكون نسبة  $C_3S$  قليلة وكذلك نسبة  $C_3A$  ولذلك تنخفض حرارة الإماهة، ولذلك يستخدم هذا الأسمنت في المنشآت الكتلية وخاصة منشآت الري حتى لا ترتفع درجة الحرارة داخل الخرسانة وتؤدي إلى تشريحها. ويجب على المهندس الوضع في الاعتبار أن مقاومة الضغط عند 28 يوم ستكون منخفضة ثم تتحسن المقاومة مع الأعمار اللاحقة. ويلاحظ أن هذا الأسمنت تحمله لمهاجمة الكبريتات جيدة.

## 2-9-2 أسمنت الخبث (Slag Cement):

لوحظ أن خبث الحديد الناتج من صناعة الصلب يحتوي تقريباً على نفس الأكاسيد الموجودة في الأسمنت. ووجد أنه يحتوي على 42% جير، 30% سيلكا، 19% ألومينا، 5% ماغنسيوم، 1% أكاسيد قلوية في المتوسط.

ويؤخذ هذا الخبث ويتم تقسيته (Quenching) بواسطة تبريده بالماء بسرعة ليتحول بناؤه إلى البناء الزجاجي (Glassy) بحيث يكون نشط ومنع حدوث بلورات كبيرة. ويوجد عدة أنواع من الأسمنت الخبثي هي:

### 1) الأسمنت البورتلاندي الخبثي (Portland Blast Furnace Cement):

حيث يتحول الأسمنت الخبثي إلى مادة أسمنتية ويتم تنشيط الخبث بوجود كمية من هيدروكسيد الكالسيوم بإضافة نسبة من الأسمنت البورتلاندي العادي ثم يتم الطحن. وقد تتغير نسبة الخبث من دولة إلى دولة. ومن أمثلة ذلك أنه تتراوح نسبة الخبث بين 25، 60% في الأسمنت Type IS Cement المنصوص عليه في ASTM C595 والمواصفات البريطانية BS 4246 تسمح بنسبة تتراوح بين 50، 90.

### 2) الأسمنت الخبثي الجيري (Lime-Slag Cement):

وفي هذا الأسمنت يكون الجير هو منشط الخبث واستخدامه قليل على مستوى العالم.

### 3) الأسمنت عالي التحمل للكبريتات (Super-Sulfated Cement):

وفي هذا الأسمنت يتم تنشيط الخبث عن طريق إضافة كبريتات الكالسيوم الغير مماهه  $(CaSO_4)$  مع قليل من الجير أو الأسمنت البورتلاندي. وهذا الأسمنت مصنف في المواصفة (BS 4248) واستخدامات هذا الأسمنت قليلة، ولكن الحرارة المنبعثة منه قليلة مقارنة بالأسمنت البورتلاندي الخبثي، كما أن تحمله للكبريتات أفضل حيث تقل نسبة CH، وأغلب الألومينا يتحد ويكون في صورة إترنجيت مما يكسبه مقاومة مبكرة.



## 2-9-3 أنواع أخرى من الأسمنت:

وتوجد أنواع أخرى فى السوق العالمية، ومنها الأسمنت البورتلاندى البوزولانى (أسمنت بورتلاندى مضاف إليه مادة بوزولانية مثل غبار السليكا)، والأسمنت القابل للتمدد (Expansive Cement) (أسمنت مضاف إليه إضافات كيميائية تحدث تمدد يلاشى انكماش الخرسانة أو يقلل منه).

ويمثل الأسمنت الأبيض أحد الأسمنتات التى تستخدم فى الأعمال المعمارية وأعمال الديكور ولونه أبيض، وينتج باستخدام حجر جبرى نقى وطين أبيض مثل الكاولين، ويجب إقلال نسبة أكسيد الحديد (المسئول عن اللون الرمادى) إلى أقل من 0.5%. ويوجد فى بعض الدول الأسمنت المخلوط، حيث يضاف للأسمنت مادة مألثة مثل كربونات الكالسيوم أو الرمال وذلك بعد تنعيمها لدرجة كبيرة. وهذا الأسمنت لا يستخدم فى الخرسانة المسلحة.

## 2-9-4 أنواع الأسمنت طبقاً للمواصفة القياسية المصرية م.ق.م 2006/4756:

هذه المواصفة مأخوذة من المواصفة البريطانية الأوربية رقم 197 (BS EN 197-1-2004)، ولذلك تشمل أسمنتات غير موجودة فى السوق المحلى، ولا تشمل تلك المواصفة إلا على الأسمنت المكون أساساً من كلنكر الأسمنت سواء أكان مكون رئيسى أو جزئى، ولا تشمل هذه المواصفة على الأسمنت المقاوم للكبريتات و الأسمنت منخفض الحرارة. تستخدم المواصفة كلمة CEM للدلالة على الأسمنت، ويقسم الأسمنت طبقاً لتلك المواصفة إلى خمسة أنواع رئيسية هى:

1. الأسمنت البورتلاندى (CEM I) بنوعيه؛ العادى ويأخذ الرمز N والأسمنت البورتلاندى سريع الشك ويأخذ الرمز R وبذلك يكون لدينا CEM I R & CEM I N
2. الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM II)، وهو ينتج من استخدام الكلنكر مع مادة أخرى.
3. أسمنت خبث الأفران العالية (CEM III)، وهو ينتج من استخدام كلنكر الأسمنت وخبث الحديد.

4. الأسمنت البوزولانى (CEM IV)، وهو يتكون من الكلنكر ومادة البوزولانا.
5. الأسمنت المركب (CEM V)، ويتكون من خلط الكلنكر مع مادتين وجدول (2-5) يحتوى على مركبات الأسمنتات أنواع III، IV، V.

ويعرف الأسمنت بجانب رموز تركيبية برتبة مقاومة ضغط مونة الأسمنت عند عمر 28 يوم. وتوجد ثلاثة رتب لمقاومة الضغط هى 32.5، 42.5، 52.5 ن/مم<sup>2</sup>. فمثلاً عندما يكون مكتوب على كيس الأسمنت (CEM I (R42.5 فهذا يعنى أن الأسمنت هو أسمنت بورتلاندى سريع الشك ومقاومة ضغط مونته بعد 28 يوم = 42.5 ن/مم<sup>2</sup>. ونتناول فى مايلى استعراضاً للأنواع المختلفة.

- الأسمنت البورتلاندى (CEM I): يشمل الأسمنت البورتلاندى العادى أو سريع التصلد كما سبق ذكره، ويتكون من كلنكر بنسبة بين 90-100% ومواد مضافة بنسبة تتراوح بين صفر، 5%. وهذا الأسمنت ينتج فى مصر.
- الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM II): وهو لا ينتج فى مصر، ويضاف للكلنكر مادة بوزولانية أو غبار السليكا أو رماد متطاير أو طقل محروق أو حجر جبرى. جدول (2-6) يحتوى على الأفرع المختلفة للأسمنت CEM



II. ويلاحظ أن للأسمنت المضاف إليه مادة بوزولانية أو الرماد المتطاير تغيير نسبة تلك الإضافات لتحقيق مواصفات أغلب الدول الأوروبية.

#### جول (2-5) مكونات أنواع الأسمنت III ، IV ، V

نوع الأسمنت	كلنكر	خبث الأفران العالية	غبار السليكا	البوزولاتى		الرماد الطائر		مكونات إضافية
				طبيعية	مكلسه	طبيعية	مكلسه	
CEM III أسمنت خبث الأفران العالية	64-35	65-36						صفر-5
	34-20	80-66						صفر-5
	19-5	95-81						صفر-5
CEM IV أسمنت بوزولاتى	89-65	—			35-11			صفر-5
	64-45	—			55-36			صفر-5
CEM V الأسمنت المركب	64-40	30-18			30-18			صفر-5
	38-20	50-31			50-31			صفر-5

- ويلاحظ أن أسمنت CEM III يستخدم فى مصر عن طريق استيراد الخبث ولكن للمشروعات الكبيرة.
- بينما الأسمنت CEM IV عبارة عن كلنكر يضاف إليه غبار سليكا أو بوزولاتى أو رماد طائر.
- الأسمنت CEM V يتكون من خليط الكلنكر وخبث الأفران ومادة بوزولانية إما غبار سليكا أو بوزولاتى أو رماد طائر غير مكلسن. ومن المهم التأكيد على أن الأسمنت II الذى يستخدم فيه الحجر الجيرى والطفل يجب عدم استخدامه فى الأعمال الخرسانية المسلحة إلى أن تثبت الأبحاث والمواصفات القياسية وكود الخرسانة صلاحيتهم لهذا الاستخدام.

#### 2-9-5 أمثله على اختيار نوع الأسمنت :

— بالنسبة للخرسانه يرجع لبا ب رقم (5) الخلطات الخرسانية واليلىب للساس (تحملية الخرسانه) قبل الإطلاع على تلك الأمثله .

مثال (1) :

— منشأ خرسانى يتكون من 40 طابق يرتكز على خوازيق موضوعة فى ماء جوفى محتوى الكلوريدات به 40000 جزء من المليون ومحتوى الكبريتات 3500 جزء من المليون معبرا عنها بـ SO3 إنكر أنواع الأسمنت ورتبها طبقاً للمواصفه المصريه الحديثه .

الحل :

المنشأ عالى وبالتالى ستكون مقاومه الضغط عاليه :

— خرسانة الأساسات سوف تتعرض لمهاجمة مزبوجة من الكبريتات والكلوريدات ولذلك

نستخدم أسمنت عالى للخبث برتبة لا تقل عن CEM III A/C 42.5 .

— خرسانة المنشأ يستخدم CEM I N42.5 .

جدول (2-6) المكونات والأنواع الفرعية للأسمنت CEM II ونسبها .

نوع الاسمنت	كلنكر	خبث الأفران	غبار السليكا	البوزولاتى		الرماد الطائر		الطفل المحروق	مكونات إضافية
				طبيعيه	مكلسنه	طبيعيه	مكلسنه		
الأسمنت البورتلاندى	CEM II/A-S	20-6							5 -0
خبث الأفران	CEM II B-S	-21 35							5 -0
أسمنت بورتلاندى بوزولاتى	CEM II/A-P	-80 94		20-6					5 -0
	CEM II/B-P	-65 79		-21 35					5 -0
	CEM II/A-Q	-80 94			20-6				5 -0
	CEM II/B-Q	-65 79			-21 35				5 -0
أسمنت البورتلاندى الرماد المتطاير	CEM II/A-V	-80 94				20-6			5 -0
	CEM II/B-V	-65 79				-21 35			5 -0
	CEM II/A-W	-80 94					20-6		5 -0
	CEM II/B-W	-65 79					-21 35		5 -0
أسمنت البورتلاندى الطفل المحروق	CEM II/A-T	-80 94						20-6	5 -0
	CEM II/B-T	-65 79						35-21	5 -0
غبار السليكا	CEM II/A-D	-90 94	10-6						5 -0
أسمنت بورتلاندى مركب	CEM II/A-M	-80 94							5 -0
	CEM II/B-M	-65 79							5 -0

مثال (2) :

- حوائط طوب لا تتعرض لأيّة مهاجمات .
- نوع الأسمنت أى نوع ماعدا الأسمنت السريع (R) .

مثال (3) :

- قواعد خرسانية تتعرض لمهاجمة كبريتات تركيزها 2500 جزء فى المليون وكلوريدات تركيزها 900 جزء فى المليون .
- نوع الأسمنت مقاوم للكبريتات .

مثال (4) :

- قواعد خرسانية تتعرض لمهاجمة ماء بها نسبة كلوريدات 30000 جزء فى المليون والكبريتات 200 جزء فى المليون .

— نوع الأسمنت CEM III A/C أو CEM I N Or CEM I R .

مثال (5) :

— أساسات قناطر على النيل .

— نوع الأسمنت منخفض الحرارة TYPE IV طبقاً للـ ASTM .

مثال (6) :

— مصنع خرسانه جاهزة يقوم بصب أعضاء منشآت خرسانية .

— نوع الأسمنت CEM I R 42.5 .

مثال (7) :

— خرسانة تهاجم بماء به نسبة الكبريتات (SO<sub>3</sub>) = 500 جزء في المليون .

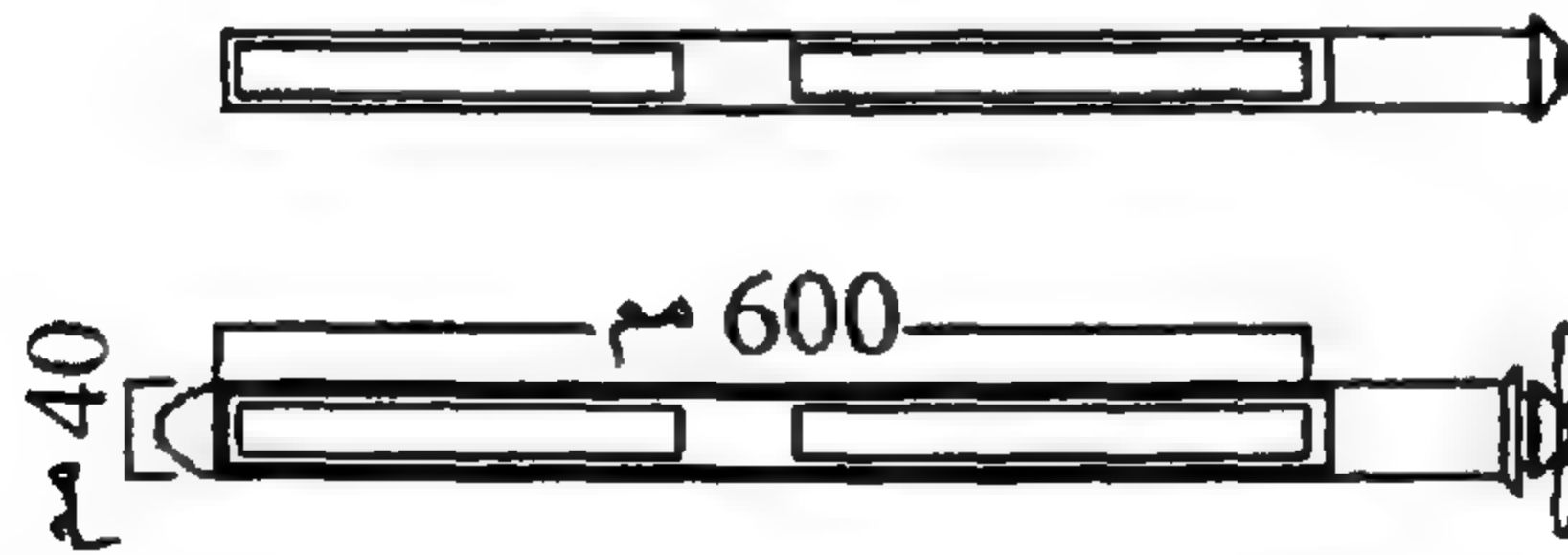
— نوع الأسمنت TYPE II طبقاً للـ ASTM .

## 10-2 اختبارات الأسمنت:

### 10-2-1 أخذ عينات الأسمنت (Sampling of Cement):

- يهدف هذا الاختبار لتحديد كيفية أخذ عينات من الأسمنت لإجراء اختبارات الصلاحية عليه ، وتسمى هذه الطريقة بالطريقة القياسية لأخذ العينات.
- تعرف رسالة الأسمنت بأنها كمية محددة من الأسمنت تم توريدها ومعرضة للاختبار عند وقت محدد ومنتجة في وقت معين.
- العينة المقررة هي عينة يتم أخذها من رسالة أسمنتية واحدة.
- العينة المركبة هي عينة مأخوذة من عدة رسائل تم توريدها على فترات زمنية قريبة ثم تخلط ويؤخذ منها عينة مركبة .
- يتم أخذ العينات إما باستخدام أنبوبة سحب قياسية كما هو موضح بشكل (2-9) أو جاروف سحب عينات قياسي كما هو موضح بشكل (2-10).

### أنبوبة داخلية



شكل (2-9) أنبوبة سحب قياسية

الأبعاد التقريبية للجاروف  
 القطر = 225 مم  
 عمق الجاروف = 175 مم  
 طول اليد = 1800 مم



شكل (2-10) جاروف سحب عينة الأسمنت

- إذا كانت الرسالة أقل من أو يساوي 20 طن من مصدر واحد تؤخذ عينة واحدة ، وإذا زادت الرسالة عن 20 طن فتؤخذ عينة لكل 20 طن.
- لا يقل وزن العينة المسحوبة عن 5 كجم.
- يجب وضع العينات في إناء مغلق تماماً عازل للرطوبة.
- يجري الاختبار خلال شهر من إنتاج الأسمنت وخلال 28 يوم من أخذ العينات.
- في حالة توريد الأسمنت في أكياس يتم أخذ عدد من الأكياس عددها لا يقل عن الجذر التكعيبي للعدد الكلي من الأكياس.
- وتسحب عينة من كل كيس بالأنبوبة القياسية ثم يتم تجميعها معاً.
- في حالة توريد الأسمنت سائب في عربة أو سفينة أو صومعة فتؤخذ العينة من عدة أعماق أو أماكن وتجنب الطبقات العليا في حالة السيارات. وينصح الكاتب بأخذ ثلاث عينات على الأقل بحيث تؤخذ عينة على الأقل من كل 20 طن.
- يكتب تقرير عن العينة به كل المعلومات عنها وعن طرق أخذ العينة.

## 2-10-2 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام منخل رقم 170:

### Fineness of Cement by the Sieve No. 170:

- الغرض من الاختبار هو تعيين نعومة الأسمنت باستخدام المنخل رقم 170.
- يتم استخدام ميزان دقته لا تقل عن 10 مليجرام ويزن حتى 100 جم.
- يتم أخذ عينة من الأسمنت قياسية وتوضع في زجاجة مغلقة وترج لمدة دقيقتين.
- يتم وزن عينة من الأسمنت قدرها 50 جرام.
- يتم نخل الـ 50 جرام على منخل 170.
- يتم حساب وزن عينة الأسمنت المتبقية على المنخل ولتكن  $W_1$ .
- % للأسمنت المحجوز ( $R_1$ ) على منخل 170 يحسب من المعادلة:

$$R_1 = \frac{W_1 \times 100}{50}$$

(2-16) .....

تكرر التجربة على عينة أخرى ويحدد % للأسمنت المحجوز ( $R_2$ ).



- النسبة المئوية للمحجوز على منخل 170 (R) = متوسط النسبة المئوية للمحجوز للعينتين المختبرتين.

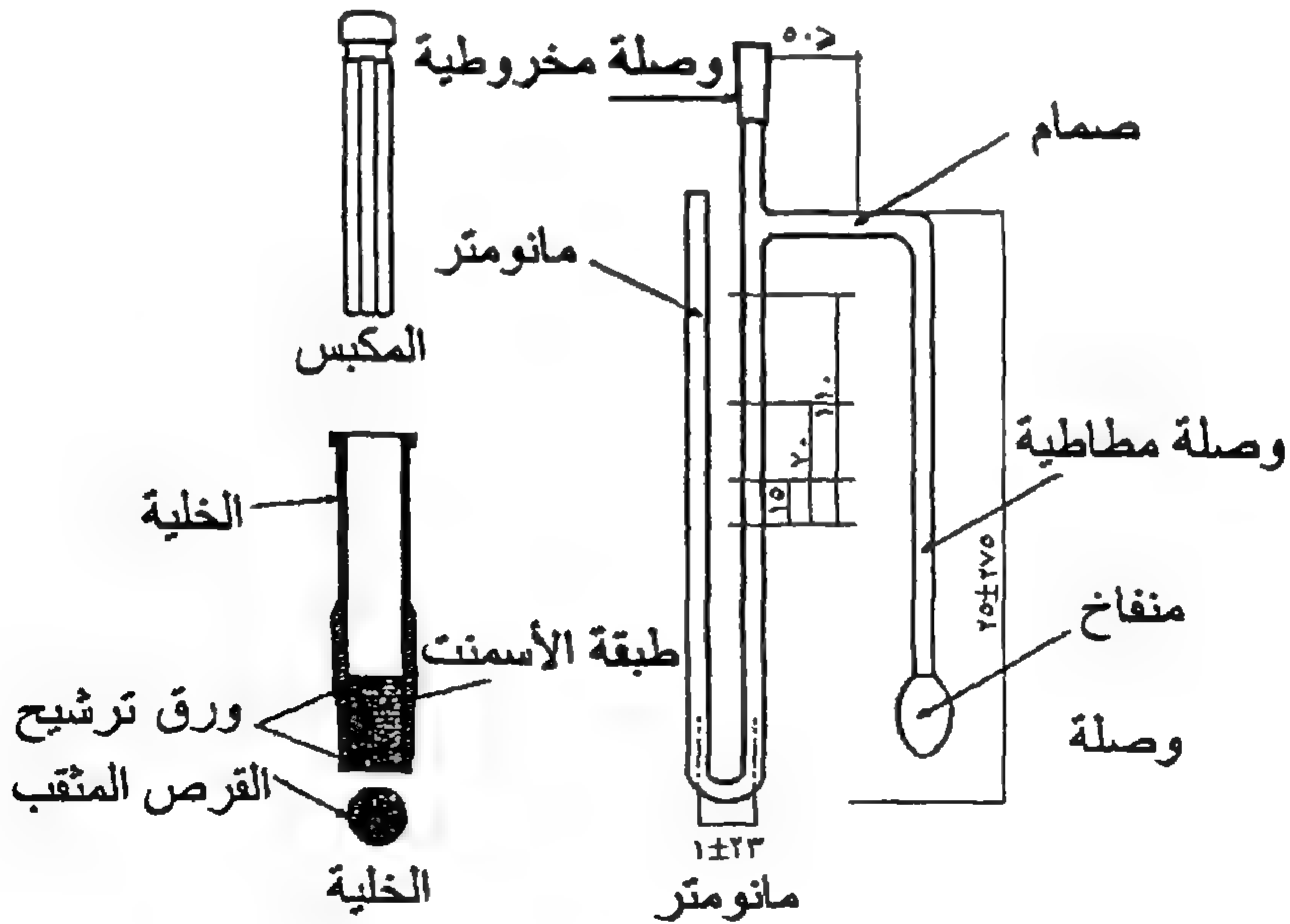
$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad \text{..... (17-2)}$$

- في حالة اختلاف  $R_2$  عن  $R_1$  بأكثر من 1% يجرى الاختبار على عينة ثالثة وتؤخذ متوسط الثلاث تحارب.

### 2-10-3 تعيين نعومة الأسمنت باستخدام جهاز بلين:

#### Determination of fineness of cement using Blaine apparatus:

- يجرى هذا الاختبار لقياس المساحة السطحية لحبيبات الأسمنت لوحدة الوزن معبّراً عنها سم<sup>2</sup>/جم. ويتم حسابها باستخدام جهاز بلين عن طريق حساب الزمن اللازم لنفاذ كمية محددة من الهواء خلال عينة قياسية من الأسمنت ، ثم تحسب المساحة كدالة من ذلك الزمن.
- يتكون جهاز بلين - كما هو مبين بشكل (2-11) - من:
  - خلية توضع فيها طبقة الأسمنت وفي أسفلها يوضع قرص مثقب. وطبقة الأسمنت تكون محصورة بين ورقتي ترشيح وتوضع الخلية في الوصلة المخروطية.
  - مكبس يستخدم في دمك عينة الأسمنت.
  - مانومتر يتصل بأحد أفرعه منفاخ لدفع الهواء في المانومتر. والمانومتر يوضع به سائل غير متطاير وغير قابل للتميع مثل ثنائي بيوتيل فيثالين أو زيت معدني خفيف ويجب توفر موازين وساعات إيقاف وقنينة كثافة.



شكل (2-11) جهاز بلين

- تؤخذ عينة أسمنت ممثلة للأسمنت.
- توضع عينة أسمنت وزنها قياسى بالخلية فوق القرص المتقّب، ويوضع أسفلها وأعلّاهما ورقة تشيف.
- يحرك المكبس حتى تلامس ضاغته ورق الترشيح العلوية، ويتم دمك الأسمنت بطريقة قياسية (يضغط ضاغط المكبس على الأسمنت حتى نهايته ثم يرفع المكبس حوالى 5 مم ويدار 90 درجة ثم يضغط مرة أخرى ويسحب برفق) ثم توضع الخلية فى الوصلة المخروطية.
- عن طريق المنفاخ يتم ضخ كمية قياسية من الهواء لكى يحدث فرق قياسى ضاغط بين طرفى المانومتر (بين علامتين) ويتم غلق الصمام حتى ندفع الهواء بالمروور فى الأسمنت.
- يسجل الزمن اللازم ( $t_c$ ) لهبوط السائل بين العلامتين. وكلما زاد هذا الزمن دل ذلك على نعومة الأسمنت.
- تحسب المساحة السطحية للأسمنت  $S_c$  (سم<sup>2</sup>/جم) من المعادلة:

$$S_c = K \times \sqrt{(P_c)^3 \times t_c} \quad \text{..... (18-2)}$$

$$Dc = (1 - Pc) \times \sqrt{0.1 \times Ic} \quad \text{..... (19-2)}$$

حيث

- ←  $K$  ثابت الجهاز، ويحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية والتي تعتمد على عينة الأسمنت المرجعية.
- ←  $Dc$  كثافة الأسمنت المختبر (جم/سم<sup>3</sup>)، ويحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية.
- ←  $Pc$  مسامية طبقة الأسمنت المختبر، وتحدد بالطريقة المذكورة فى المواصفات القياسية.
- ←  $Ic$  لزوجة الهواء والمعطاء بجدول (7-2).

جدول (7-2) كثافة الزئبق ولزوجة الهواء عند درجات حرارة مختلفة طبقاً لدرجة حرارة التجربة

درجة الحرارة م°	كثافة الزئبق جم /سم <sup>3</sup>	لزوجة الهواء ( $Ic$ ) بـسكال ثانية
16	13.560	0.00001800
17	13.560	0.00001805
18	13.550	0.00001810
19	13.550	0.00001815
20	13.550	0.00001819
21	13.540	0.00001824
22	13.540	0.00001829
23	13.540	0.00001834
24	13.540	0.00001839

**2-10-3 محتوى الماء القياسي اللازم للعجينة الأسمنتية ذات القوام القياسي:**  
**Standard Water Content Required for Cement Paste of**  
**Standard Consistency:**

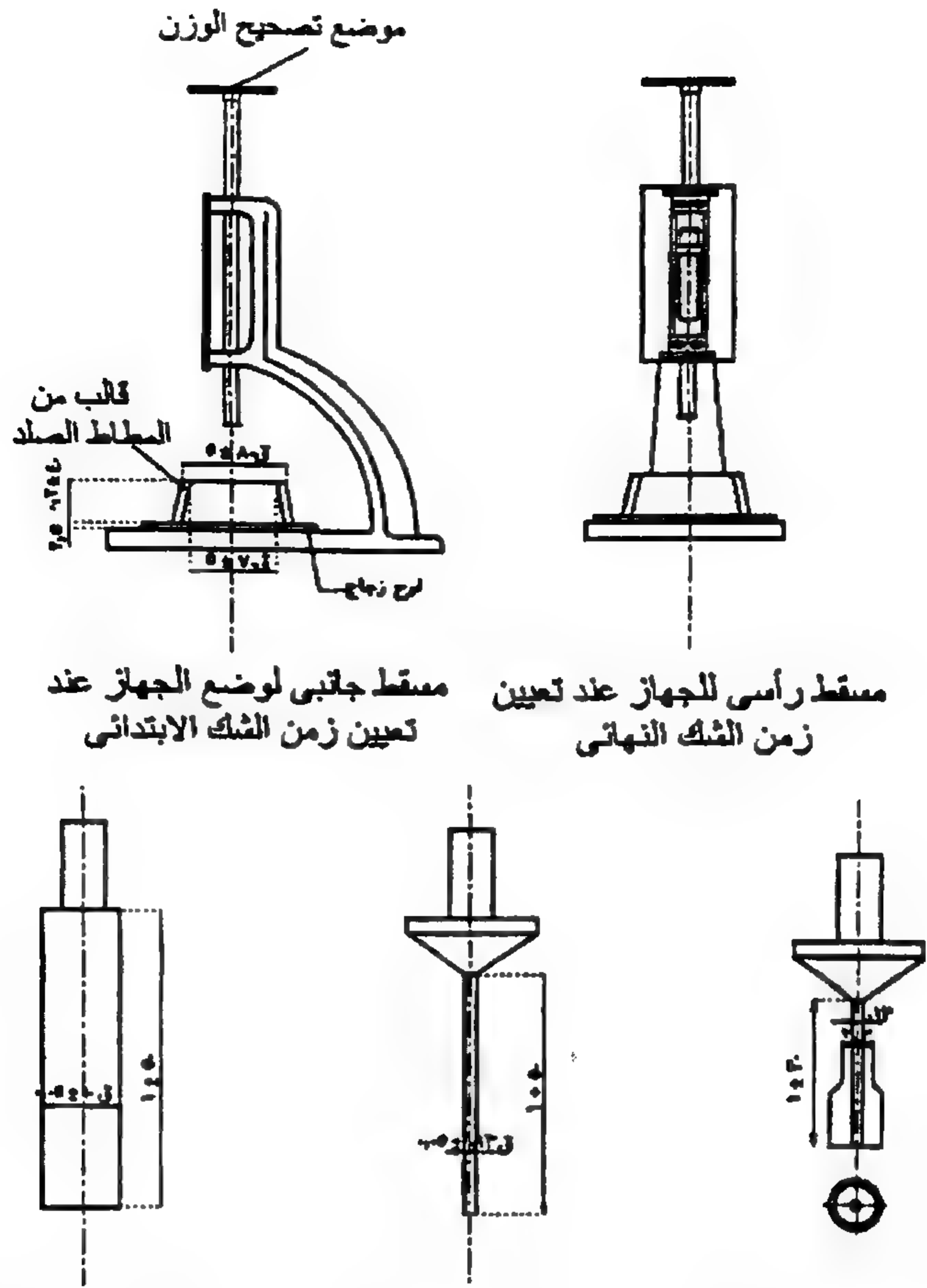
**2-10-3-1 جهاز فيكات:**

الحهاز مبين بشكل (2-12) وهو عبارة عن إطار معننى ينزلق داخله حامل (وزنه 300 جم) مثبت به إحدى أطراف فيكات الثلاثة.

- الأول منها اسطوانة قطرها  $10 \pm 0.5$  مم تستخدم لتحديد الماء القياسي.
- والثانى عبارة عن إبرة قطرها 1 مم تستخدم لتحديد زمن الشك الابتدائى.
- والثالث طرف عبارة عن إبرة قطرها 1 مم تبرز مسافة قدرها 0.5 مم من جزء دائرى ودورانية مثبتة فى الإطار لقياس المسافة بين طرف فيكات وقاع المخروط.
- مخروط ناقص لوضع عجينة الأسمنت به قطره العلوى  $70 \pm 5$  مم وقطره السفلى  $80 \pm 5$  مم وهو مفتوح الطرفين يجلس على لوح غير منفذ وارتفاع هذا المخروط  $40 \pm 2$  مم.

**2-10-3-2 خطوات الاختبار:**

- يتم تركيب اسطوانة فيكات (10مم) ويتم دهان المخروط بالزيت.
- تؤخذ عينة بطريقة قياسية من الأسمنت.
- يتم وزن عينة من الأسمنت قدرها 400 جرام .
- يتم إضافة ماء بمحتوى تقريبي حوالى 20% من وزن الأسمنت. ويتم خلط العجينة فى مدة قياسية  $240 \pm 5$  ثانية باستخدام مسطرين قياسى وزنه 210 جم.
- يتم ملأ القالب بالعجينة فى نهاية مدة الخلط وتسويته .
- يسمح للأسطوانة باختراق المخروط بطريقة قياسية. وبعد 30 ثانية تقاس المسافة بين الاسطوانة وقاع القالب.
- تعاد التجربة عدة مرات بمحتويات ماء مختلفة وحتى تسجل الاسطوانة مسافة اختراق  $5 \pm 1$  مم.
- ترسم علاقة بين محتوى الماء كنسبة من وزن الأسمنت ومسافة الاختراق. ثم نعين النسبة المئوية لمحتوى الماء القياسى الذى تحقق مسافة  $1 \pm 5$  مم من القاع .



حلبة ابرة زمن الشك النهائي ابرة زمن الشك الابتدائي اسطوانة تعيين القوام القياسي  
شكل (2-12-أ) جهاز فيكات



شكل (2-12-ب) جهاز فيكات



## 2-10-3 زمن الشك الابتدائي والنهائي للعجينة الأسمنتية باستخدام جهاز فيكات: Initial and Final Setting Times of Cement Paste Using Vicat's Apparatus:

### 1. تحديد زمن الشك الابتدائي:

- يتم تركيب إبرة فيكات (1مم) فى حامل فيكات.
- يتم إضافة الماء القياسى المحدد فى التجربة السابقة لـ 400 جرام أسمنت ويتم تشغيل ساعة الإيقاف.
- يتم الخلط للفترة القياسية ( $5 \pm 240$  مم) ويتم ملء القالب وتسويته.
- بعد مرور حوالى 15 دقيقة تترك الإبرة لتسقط وتخترق عجينة الأسمنت. وبعد 30 ثانية تقاس مسافة الاختراق على تدريج الجهاز .
- يتم رفع حامل الإبرة لأعلى وعلى فترات زمنية قدرها 10 دقائق يتم إنزال الإبرة لقياس مسافة الاختراق فى أماكن مختلفة (المسافة بينها حوالى 10 مم) ونرسم علاقة بين الزمن ومسافة الاختراق من القاع.
- من النتائج نحدد الزمن الذى يتحقق عنده اختراق قدره  $1 \pm 5$  مم من القاع فيكون هو زمن الشك الابتدائي من لحظة إضافة الماء وحتى تلك اللحظة.

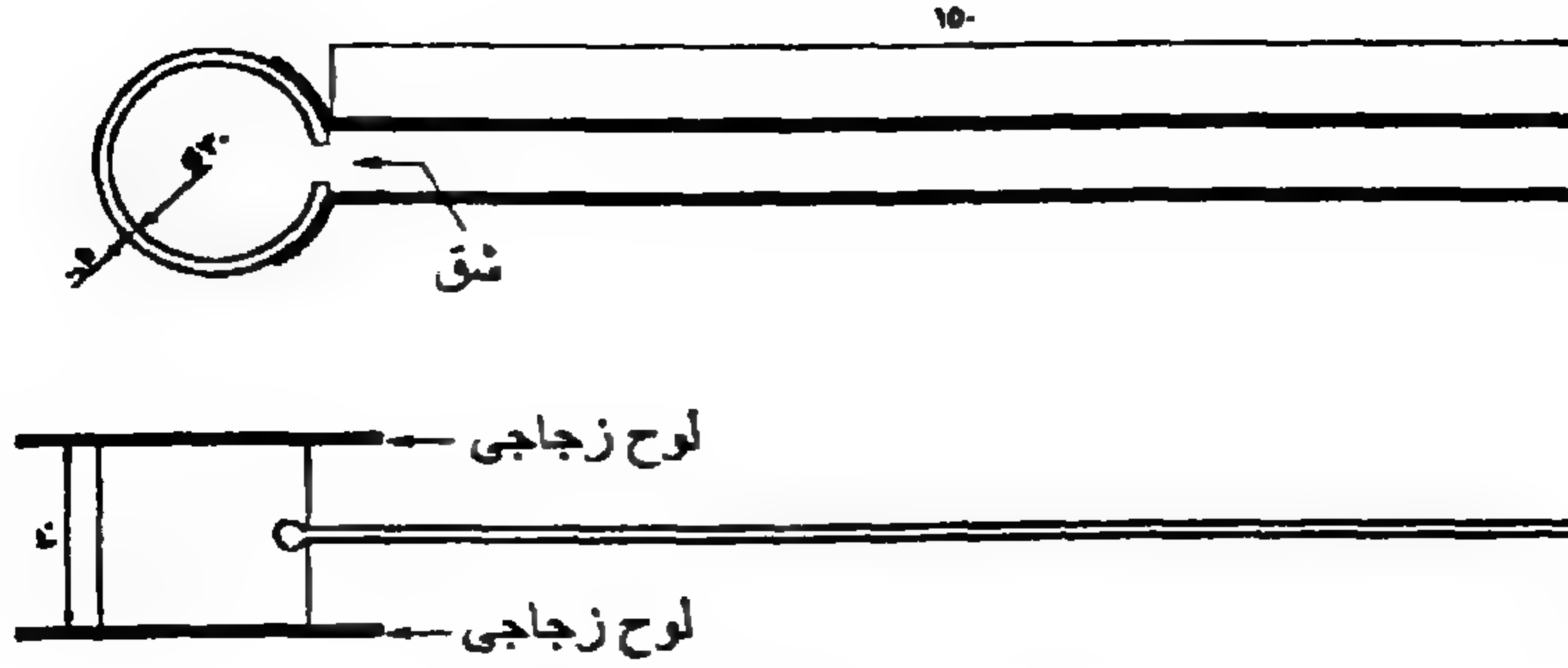
### 2. تحديد زمن الشك النهائى:

- بعد تحديد زمن الشك الابتدائي يتم تغيير الإبرة بالإبرة المثبتة فى طرف دائرى وتبرز عنه مسافة 0.50 مم.
- على فترات زمنية قدرها 30 دقيقة يتم إسقاط الحامل ومعه الجزء الدائرى، ونسجل الزمن من لحظة خلط الماء وحتى لحظة اختراق الإبرة (1مم) مسافة قدرها 0.5 مم من القمة. ويتم التعرف عليها عند اختفاء أثر الجزء الدائرى مع بقاء أثر الإبرة (1مم) ( حيث يظهر أثرهما معاً قبل هذا الزمن).
- لا يقل زمن الشك الابتدائي عن 45 دقيقة لجميع أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت منخفض الحرارة فلا يقل عن 60 دقيقة ولا يقل زمن الشك النهائى عن 10 ساعات.

## 2-10-4 تقدير ثبات الحجم (التمدد) للأسمنت بطريقة لوشاتلييه:

### Le Chatelier Expansion of Cement:

- يهدف هذا الاختبار لقياس تمدد الأسمنت باستخدام جهاز لوشاتلييه. حيث يتم تحديد التمدد بعد تعريض عجينة الأسمنت للغليان لتسريع تفاعل العناصر الكيميائية مع الأسمنت. وتستخدم هذه الطريقة فى تحديد صلاحية جميع أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت ذو النعومة 4100 أو عندما تزيد نسبة الماغنسيوم عن 4% ، وفى تلك الحالة يتم استخدام طريقة الأوتوكلاف.
- يتم الاستعانة بقالب لوشاتلييه المبين فى شكل رقم (2-13). وهو عبارة عن قالب اسطوانى مجوف من سبيكة نحاسية قطره 30 مم به ثقب طولى ، ومثبت به دسبلان طولهما 150 مم ، ومع كل قالب لوحان من الزجاج يستخدمان كقاعدة وغطاء للقالب وزن كل منهما 75 جم على الأقل ، ويمكن وضع ثقل على اللوح العلوى.



شكل (2-13) جهاز لوشاتلييه

- يتم الاستعانة بحمام مائي يمكن رفع درجة حرارته ميكانيكياً من 25°م إلى الغليان خلال 30 دقيقة  $\pm 5$  دقيقة ثم تظل درجة الحرارة ثابتة لمدة ساعتين (وهذه الطريقة سنطلق عليها الغليان القياسي).
- يتم خلط وزن معين من الأسمنت مع محتوى الماء القياسي الذي يعطى العجينة القياسية. ويتم الخلط للمدة القياسية ( $5 \pm 240$  ثانية)، ونملا قالب الذي سبق تزيينه (بملا قالبين من نفس العجينة) مع الحفاظ على الشق الطولي مغلق.
- نترك القوالب في ظروف قياسية (درجة حرارة  $2 \pm 25$  درجة مئوية ورطوبة نسبية 98%) لمدة 24 ساعة  $\pm 0.5$  ساعة.
- يرفع القالب في نهاية هذه الفترة ونقيس المسافة بين طرفي الدليل لأقرب 0.50 مم ولتكن ف<sub>1</sub>.
- يوضع القالب في الحمام المائي ويعرض للغليان القياسي المذكور سابقاً لمدة ساعتين ونصف.
- يترك القالب ليبرد حتى درجة  $2 \pm 25$  درجة مئوية.
- يتم قياس المسافة بين الدليلين ولتكن ف<sub>2</sub>.
- التمدد = ف<sub>2</sub> - ف<sub>1</sub>
- يؤخذ متوسط تمدد القالبين.
- لا يزيد التمدد عن 10 مم لجميع أنواع الأسمنت ، ولا يزيد عن 5 مم للأسمنت عالي المقاومة للكبريتات .
- بعض المواصفات تقيس المسافة ف<sub>2</sub> بعد وضع الجهاز في حمام مائي بارد ( $1 \pm 25$  درجة مئوية) لمدة سبعة أيام أي بدون غليان.

## 2-10-5 تقدير ثبات الحجم (التمدد) بطريقة الأوتوكلاف:

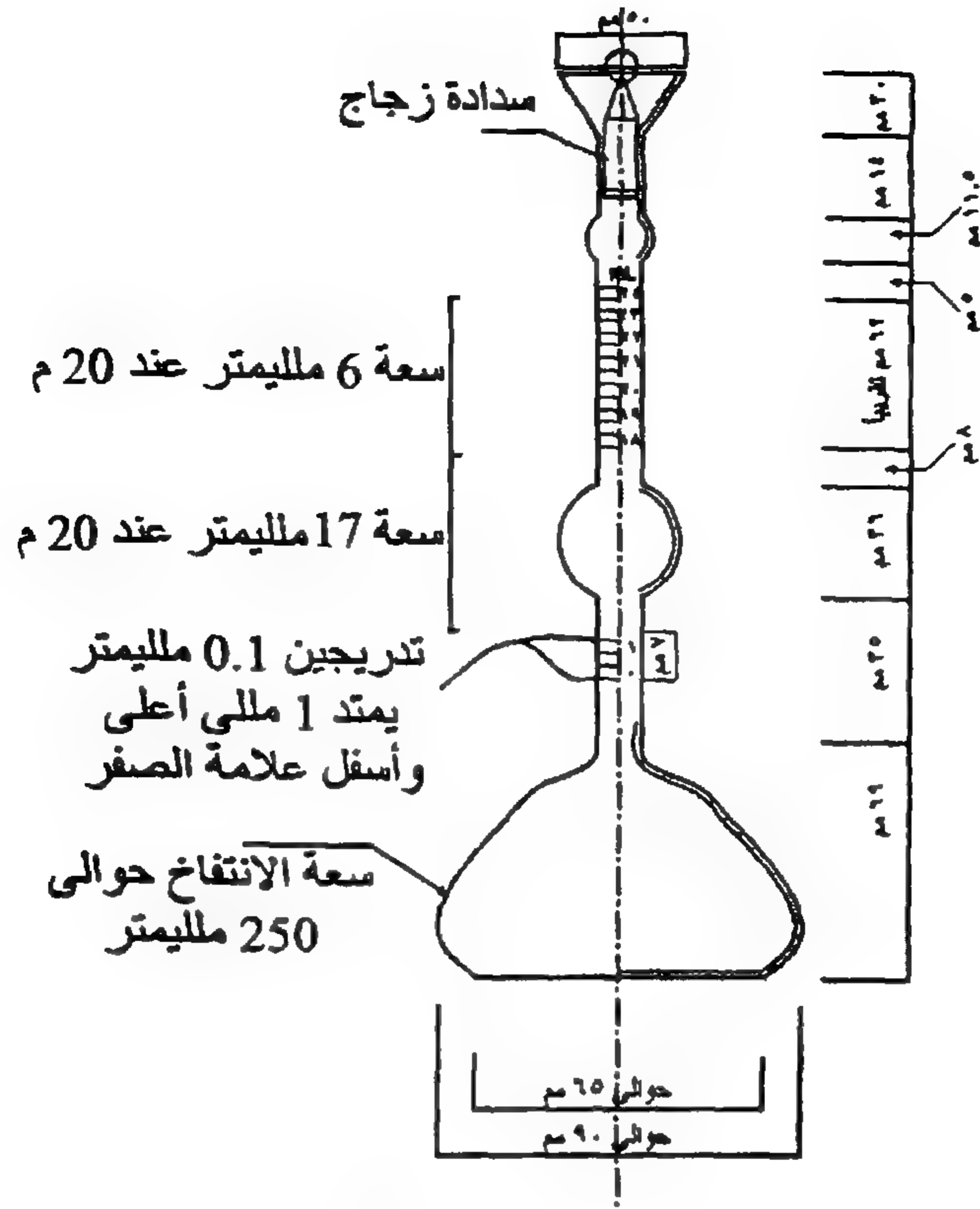
### Determination of Soundness of Cement Using Autoclave:

- يهدف الاختبار لتحديد التمدد الناتج عن تعريض منشور من عجينة الأسمنت لظروف تفاعل سريع ناتج عن تعرضه لبخار ماء تحت ضغط 2 ميجا باسكال لمدة 3 ساعات. ويستخدم هذا الاختبار للحكم على صلاحية الأسمنت ذي النعومة 4100 وصلاحية أي أسمنت تزيد نسبة أكسيد الماغنسيوم فيه عن 4%.

- يتم استخدام جهاز الأوتوكلاف ، وهو عبارة عن وعاء يتحمل الضغط العالي لبخار الماء ، وحجمه يسمح بوضع العينات به ، وبه مكان لوضع ترمومتر لقياس درجة الحرارة ، وهذا الوعاء مصمم بحيث ترتفع درجة الحرارة لتحويل الماء إلى بخار ، ويتم ضبط ضغط البخار آلياً. والجهاز مزود بجهاز لقياس الضغط ، وبه صمام أمان وصمام تهوية يسمح بإخراج الهواء عند بداية التجربة ، ويسمح بإخراج البخار عند نهاية التجربة.
- يستخدم قوالب معدنية قوية لصب منشورات من عجينة الأسمنت أبعادها القياسية 25×25×285 مم ، ومثبت بنهايتها طرفين معدنيين غير قابلين للصدأ لقياس المسافة.
- يتم وزن 650 جم من الأسمنت وخلطها مع محتوى الماء القياسي لعجينة الأسمنت القياسية المحدد من جهاز فيكات لمدة قياسية.
- يتم ملأ القوالب وتركها 24 ساعة في جو قياسي (رطوبة نسبية 95% ، درجة حرارة  $23 \pm 1.5$  درجة مئوية).
- يتم قياس الطول لـ 1.
- ضع العينات في الأوتوكلاف وبه ماء حجمه حوالي 7-10% من حجم العينات.
- سخن الأوتوكلاف مع ترك الهواء يخرج وأغلقه بعد خروج البخار ، واستمر في التسخين حتى يصل الضغط إلى 2 ميجا باسكال خلال 45-75 دقيقة.
- اترك العينات تحت هذا الضغط لمدة 3 ساعات.
- يبرد الأوتوكلاف لينزل الضغط إلى 0.07 ميجا باسكال في 1.5 ساعة.
- افتح حمام الهواء ليتعادل الضغط الداخلي مع الضغط الجوي.
- يفتح الأوتوكلاف وتوضع العينات في ماء درجة حرارته 90 ، ويبرد بماء ليصل لدرجة حرارته 23 درجة مئوية في 15 دقيقة.
- جفف العينات وقس الطول وليكن لـ 2.
- تحسب النسبة المئوية للتمدد  $= 100 \times \frac{L_2 - L_1}{L_1}$
- لا تزيد النسبة المئوية للتمدد للأسمنت عن 0.8% ، ولا تزيد عن 0.5% للأسمنت ذو النعومة 4100.

## 2-10-6 كثافة الأسمنت (Density Cement):

- يجري هذا الاختبار طبقاً للمواصفة ASTM C188-84 لتحديد كثافة الأسمنت ، والتي تمثل النسبة بين كتلة الأسمنت وحجم حبيباته.
- تستخدم قنينة الكثافة الموصوفة في شكل (2-14).
- توضع كمية من الكيروسين في القنينة بحيث يتم أخذ قراءة على التدريج وليكن (أ).
- ضع وزن حوالي 64 جرام من الأسمنت في القنينة لطرده أية هواء محبوس بتحريك القنينة حركة دورانية .
- اقرأ سطح الكيروسين الذي يرتفع للقراءة (ب).
- كثافة الأسمنت =  $\frac{\text{كتلة الأسمنت}}{\text{ب - أ}}$



شكل (2-14) قنبنة الكثافة

## 7-10-2 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية:

### Compressive Strength of Cement Mortars:

#### 1. الهدف:

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باختبار مكعبات قياسية من مونة الأسمنت، ويتم خلطها يدوياً ، وتدمك ميكانيكياً بماكينة اهتزاز قياسية. ويعتبر هذا الاختبار اختبار قبول أو رفض للأسمنت .

#### 2. الأجهزة:

- ماكينة اهتزاز قياسية (سرعة الهز  $400 \pm 12000$  هزة في الدقيقة).
- يكون قالب الاختبار قياسى بأبعاد 70.7 ملليمتر ومساحة كل سطح من أسطحه 500 مم<sup>2</sup>.
- يصنع القالب من معدن لا يتأثر بمونة الأسمنت ، ويكون متيناً بالدرجة التى تمنع التشوهات ، ومصمماً بحيث يسمح بسهولة نزع العينة منه دون حدوث أى أضرار بها. وتجمع أجزاء القالب بوسيلة تجعله متماسكاً أثناء الملء والتداول.
- يزود كل قالب بقاعدة من لوح صلب لمنع تسرب المونة من القالب أو الماء . ويكون وزن القالب والقاعدة متوافقاً مع متطلبات ماكينة الاهتزازات.



- حوض المعالجة : يحتوى على ماء صالح للشرب ، ويغير هذا الماء كل سبعة أيام على الأكثر أو حين الحاجة لذلك ، وتكون درجة حرارة الماء به  $20 \pm 2$  درجة مئوية.
- ماكينة اختبار الضغط : تكون مناسبة للاختبار بحيث يقع حمل متوقع للعينة بين  $20 - 80\%$  من تكريج القياس بالماكينة ، ويراعى التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم<sup>2</sup> فى الدقيقة.
- 3. العينات:

يتم اختبار ثلاثة مكعبات بأبعاد  $70.7 \times 70.7 \times 70.7$  ملليمتر عند كل عمر اختبار.

- 4. خطوات الاختبار:
- تكون درجة الحرارة والرطوبة النسبية أثناء خلط وصب العينات كما هو موضح بجدول (2-8).

جدول (2-8) اشتراطات الحرارة والرطوبة النسبية والتفاوتات المسموح بها

المكان	درجة الحرارة (متوبة)	أقل رطوبة نسبية (%)
غرفة الخلط	$20 \pm 2$	65 %
غرفة المعالجة	$20 \pm 2$	90 %
ماء حوض المعالجة	$20 \pm 2$	—
حجرة ماكينة الضغط	$20 \pm 2$	50 %

- ملحوظة : قبل إجراء الاختبار يراعى أن تكون درجة حرارة المواد المستخدمة والقوالب هي نفس درجة حرارة غرفة الخلط ، ويتم ذلك بحفظها داخل الغرفة لمدة كافية.
- يشترط فى الرمل القياسى المستعمل فى هذا الاختبار ما يلى:
  - لا تقل نسبة السيالكا فيه عن 90% بالوزن.
  - يكون مغسولاً ومجففاً جيداً، ولا يزيد محتوى الرطوبة به عن 0.1% بالوزن على الأساس الجاف.
  - لا يزيد الفقد فى الوزن بعد معالجته بحمض الهيدروكلوريك الساخن على 0.25%.
  - يمر جميعه من المنخل القياسى (مقاس فتحته 850 ميكرون)، ولا يزيد المار منه من المنخل القياسى (مقاس فتحته 600 ميكرون) على 10% بالوزن.
- تحضر الأوزان اللازمة (الرمل والأسمنت والماء) لكل مكعب كما هو موضح بجدول (2-9).

جدول رقم (2-9) نسب الخلط للمكعب الواحد

نوع الأسمنت	المواد	النسب بالوزن	الوزن (جرام)
كل أنواع الأسمنت ماعدا الأسمنت عالى الألومينا	أسمنت	1.0	$185 \pm 1$
	رمل	3.0	$555 \pm 1$
	ماء	0.4	$74 \pm 1$
الأسمنت عالى الألومينا	أسمنت	1.0	$190 \pm 1$
	رمل	3.0	$570 \pm 1$
	ماء	0.4	$76 \pm 1$

- يثبت القالب على ماكينة الهز ويركب الدليل فوق القالب.

- تخلط المونة الخاصة بكل مكعب على سطح غير مسامي ممسوح بقطعة قماش مبللة، ويخلط الأسمنت والرمل وهما جافان لمدة دقيقة باستعمال عدد اثنين من المسطرين القياسى، ثم يضاف الماء ويتم خلط المكونات لمدة 4 دقائق باستخدام المسطرين.
- تنقل المونة فور خلطها وبسرعة إلى دليل القالب ويهرز القالب لمدة دقيقتين على ماكينة الاهتزاز القياسية .
- يرفع القالب من ماكينة الاهتزاز ويوضع فى غرفة المعالجة فى جو رطوبته النسبية 90% على الأقل ودرجة حرارته  $20 \pm 2$  درجة مئوية لمدة  $24 \pm 0.5$  ساعة. ويراعى أثناء هذه المدة تغطية سطح القوالب بلوح معدنى مستوى غير مسامى مثل الحديد أو المطاط لمنع تبخر الماء.
- تفصل العينات من القوالب وتوضع فى حوض المعالجة الذى يحتوى على ماء الشرب النظيف لحين وقت اختبارها، على أن يتم وضع علامة مميزة على كل مكعب لتمييزه عن الآخر.
- ملحوظة: العينات المطلوب اختبارها بعد 24 ساعة تفصل من قوالبها قبل 15 إلى 20 دقيقة من اختبارها ، وتغطى بقطعة قماش مبللة للحفاظ على رطوبتها ، وإذا كانت درجة تماسك المونة بعد 24 ساعة تؤدي إلى إنهيار المكعب ، تؤجل عملية فصل المكعبات من القوالب لمدة 24 ساعة أخرى ، ويسجل ذلك فى تقرير الاختبار .
- بحسب عمر اختبار العينات من وقت إضافة الماء للمواد ، وعادة ما تختبر بعد الأعمار التالية : يوم واحد ( $24 \pm 0.5$ ) ساعة، ثلاثة أيام ( $72 \pm 1$ ) ساعة، سبعة أيام ( $168 \pm 1$ ) ساعة ، 28 يوما ( $672 \pm 1$ ) ساعة.
- ترفع المكعبات من الماء عند حلول موعد اختبارها ، ويمسح الماء الزائد من أسطحها بواسطة قطعة قماش رطبة ، وتزال أى نتوءات سطحية بسيطة .
- توضع المكعبات على أحد جوانبها ، وهى لاتزال مشبعة بالماء على لوح جهاز قياس مقاومة الضغط ، ويراعى ألا يستخدم حشو بين المكعب واللوح. ثم يطبق الحمل ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم<sup>2</sup> فى الدقيقة ، على أن يكون محورا العينة والحمل متطابقين تماماً.
- تسجل قيمة الحمل الذى يحدث عنده الكسر كما تسجل حالات الكسر غير العادى.
- 5. النتائج:
- تحسب مقاومة الأسمنت للضغط من متوسط مقاومة الضغط لثلاث عينات مختبرة عند نفس العمر مع تقريب النتائج لأقرب 0.5 نيوتن/مم<sup>2</sup> كما يلى:  

$$\text{مقاومة الضغط} = \frac{\text{متوسط حمل التهشيم لثلاثة مكعبات}}{\text{المساحة المعرضة للحمل}}$$
- إذا انحرفت نتيجة مقاومة ضغط أحد المكعبات الثلاثة عن المتوسط بمقدار  $\pm 5.0\%$  تحذف هذه القيمة ويعاد حساب متوسط النتائج الباقية.
- إذا زاد عدد المكعبات التى انحرفت نتائجها عن المتوسط بمقدار  $\pm 5.0\%$  عن مكعب واحد تحذف نتائج المجموعة كلها.
- 6. حدود القبول أو الرفض:
- تكون حدود القبول أو الرفض لمقاومة الضغط كما هو موضح بجدول (2-10):

جدول رقم (2-10) حدود المواصفات لمقاومة الضغط لمكعبات المونة الأسمنتية (نيوتن/مم<sup>2</sup>)

نوع الأسمنت	بعد 24 ساعة لا تقل عن	بعد 3 أيام لا تقل عن	بعد 7 أيام لا تقل عن	بعد 28 يوم لا تقل عن
أسمنت بورتلاندى عادى	—	18	27	36
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	—	24	31	40
أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	—	18	27	36
أسمنت بورتلاندى منخفض الحرارة	—	7	13	27
الأسمنت البورتلاندى الأبيض	—	18	27	36
الأسمنت البورتلاندى المخلوط بالرمل	—	12	20	27
أسمنت بورتلاندى نو النعومة 4100	10	25	32.5	40
أسمنت حديدى	—	13	21	34
أسمنت عالى الألومينا	25	—	—	—
80	30	—	—	—
70	50	—	—	—
50	50	—	—	—
40	50	—	—	—

8-10-2 اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية باستخدام جزء من منشور  
تم اختباره انحنائياً:

### Compressive Strength of Cement Mortars Using Portions of Prisms Tested In Flexure:

يغطى هذا الاختبار تحديد مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باستخدام أجزاء من منشور تم اختباره تحت تأثير الانحناء. ويعتبر تعيين مقاومة الضغط باستخدام جزء من منشور لأغراض مرجعية وليست بديلة للمكعبات (طبقاً للمواصفات المصرية القديمة م.ق.م 1991/373). والمواصفة الأوروبية الحالية والمصرية الجديدة تستخدم تلك التجربة للتعبير عن مقاومة الضغط للحكم على رتبة الأسمنت.

1. الهدف:

يهدف الاختبار لتحديد مدى مقاومة المونة للضغط من خلال استخدام أجزاء من منشور تم اختباره تحت تأثير الانحناء. ولا يستخدم هذا الاختبار للحكم على صلاحية الأسمنت.

2. الأجهزة:

- ألواح تحميل لا يقل سمكها عن 25 مم مصنوعة من حديد صلب بأبعاد (50.8×40.32 مم) ولها صلادة لا تقل عن 60 بمقياس روكويل.
- ماكينة اختبار الضغط: تكون مناسبة للاختبار بحيث يقع أقصى حمل متوقع للعينة بين 20-80% من تدريج القياس بالماكينة. ويراعى التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره 35 نيوتن/مم<sup>2</sup> فى الدقيقة.

3. العينات:

لابد أن تكون أجزاء العينات المختارة خالية وبعيدة عن الشروخ أو أى عيوب ظاهرة أخرى ، ولا يقل طول العينات عن 64 مم.

#### 4. خطوات الاختبار:

- يتم صب منشور (40 × 40 × 160 مم) بعدد قياسي (3 منشور) بعد 24 ساعة يتم فك القوالب ومعالجة العينات قياسياً (غمر في الماء درجة حرارته 23 ± 2 .
- تختبر المنشورات في الانحناء .
- تجفف العينات بقطعة قماش رطبة ثم تزال أي حبات رمال من أسطح العينة.
- يجب التأكد من استواء أسطح العينات.
- توضع العينة في ماكينة الاختبار كالاتي:
  - يتم وضع الجزء السفلي من أداة ضبط ألواح التحميل بحيث يتطابق محور الأداة مع محور ماكينة الضغط .
  - توضع العينة على اللوح السفلي للتحميل بحيث يكون البعد 50.8 مم لألواح التحميل متعامداً على المحور الطولي للمنشور. وعلى ذلك تكون المساحة المعرضة للتحميل 40×40 مم ، ثم يتم وضع اللوح العلوي باستخدام أداة ضبط الألواح.
  - يتم التحميل بمعدل منتظم وتدرجياً كما هو موضح باختبار مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية .
  - يراعى ألا تزيد الفترة بين اختبار الانحناء واختبار الضغط عما يلي:

عمر الاختبار	الفترة الزمنية المسموح بها
1 يوم	10 دقائق
أعمار أخرى	30 دقيقة

#### 5. النتائج:

- يتم تسجيل أقصى حمل لكسر العينة ، ويتم حساب مقاومة الضغط للمكعب المكافئ كالاتي:

$$S_c = 0.062P$$

حيث

←  $S_c$ : مقاومة الضغط بالكيلو باسكال.

←  $P$ : حمل الكسر بالنيوتن.

- يتم حساب المقاومة لأقرب 50 كيلوباسكال.



## الباب الثالث

### الخرسانة الطازجة (Fresh Concrete)

#### 1-3 مقدمة:

تمر الخرسانة عند تجهيزها وصبها بمراحل متعددة؛ وأول هذه المراحل هي مرحلة الخرسانة الطازجة، وتمتد هذه المرحلة من بداية خلط الخرسانة حتى بداية حدوث الشك الابتدائي للخرسانة، ولا بد من أن تتوفر في الخرسانة الطازجة مواصفات خاصة لها مثل التشغيلية والقوام. وقد تعطى نتائج هذه المواصفات دلائل لخواص الخرسانة في المراحل التالية لها، وتستخدم اختبارات الخرسانة الطازجة كطريقة لضبط الجودة في الموقع. وتتوقف خواص الخرسانة الطازجة على نوع المنشأ المستخدم وقطاعاته والمسافات الخالصة بين صلب التسليح، وكذلك طريقة الصب؛ فمما لا شك فيه أن خواص الخرسانة المستخدمة في حالة الصب بواسطة المضخات تختلف عن مثيلتها المستخدمة بالطرق العادية. وأهم خواص الخرسانة الطازجة هي القوام والتشغيلية والانفصال الحبيبي والنزيف.

#### 2-3 قوام الخرسانة Consistency :

يعبر قوام الخرسانة التي لا تحتوي على الإضافات عن درجة بللها ومحتوى المياه فيها، فتوجد خرسانة جافة وخرسانة صلبة ولدنة ومبللة ومائية القوام، فالخرسانة التي تحتوي على ماء قليل جداً، بحيث يظهر الركام غير مبلل يطلق عليها خرسانة ذات قوام جاف (Dry Consistency)، وإذا ضغط مهندس ما على الخرسانة المصبوبة بقدمه فلن تحدث علامة.

والخرسانة ذات محتوى الماء القليل تظهر متماسكة، وتظهر فيها أثر سطحي لقدم المهندس عند الضغط عليها، ويقال أن الخرسانة قوامها صلب (Hard)، ومن السهل أن يلاحظ المهندس تلك الخرسانة عند نزولها من الخلطة على هيئة مخروط متماسك. أما الخرسانة ذات محتوى الماء المتوسط والتي تظهر فيها جزئيات الماء لامعة في ضوء النهار والتي تترك أثر غائر لقدم المهندس يقال أنها خرسانة ذات قوام لدن (Plastic). والخرسانة ذات محتوى الماء العالي والتي يظهر بها الماء للعين المجردة وتتحرك جانبياً عند الضغط عليها، يقال أن قوامها مبلل (Wet). أما الخرسانة ذات محتوى الماء العالي جداً، فإن الماء يتحرك خارج الخرسانة عند الأطراف منفصلاً عنها، ويسمى ذلك القوام قوام مائي (Sloppy)، وهذا القوام لا يمكن استخدامه في المنشآت إذا كانت الخرسانة بدون إضافات كيميائية. وللحكم على نوع القوام بأسلوب علمي توجد عدة طرق تستخدم لتعيينه وهي:

- اختبار الهبوط (Slump Test).
- اختبار منضدة الانسياب (Flow Table Test).
- اختبار كرة الاختراق (غير مستخدمة الآن) (Ball Penetration Test).

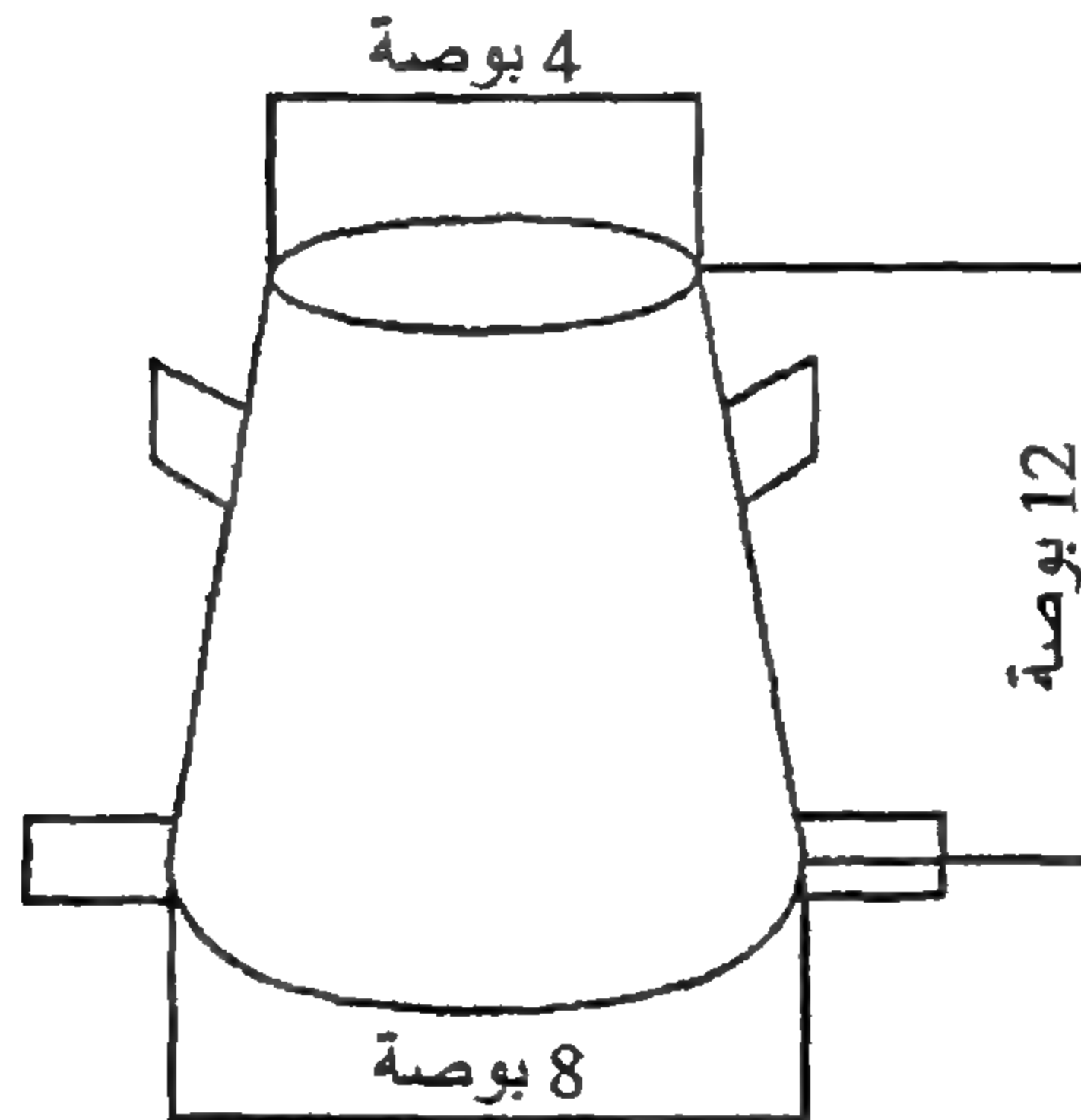
#### 1-2-3 اختبار الهبوط Slump Test:

الغرض من الاختبار هو تعيين قوام الخرسانة عن طريق معرفة درجة هبوطها. ويستخدم هذا الاختبار نظراً لسهولة كاختبار ضبط جودة رخيص الثمن؛ حيث تعطى نتائجه معلومات

لا بأس بها عن نسب مكونات الخلط وخاصة الماء . ويمكن إجراء هذا الاختبار في المعمل أو الموقع. ويستخدم لهذا الاختبار مخروط مفتوح من نهايته بالأبعاد المبينة بالشكل (1-3).



شكل (1-3-أ) مخروط الهبوط



شكل (1-3-ب) مقاس مخروط الهبوط

#### خطوات الاختبار:

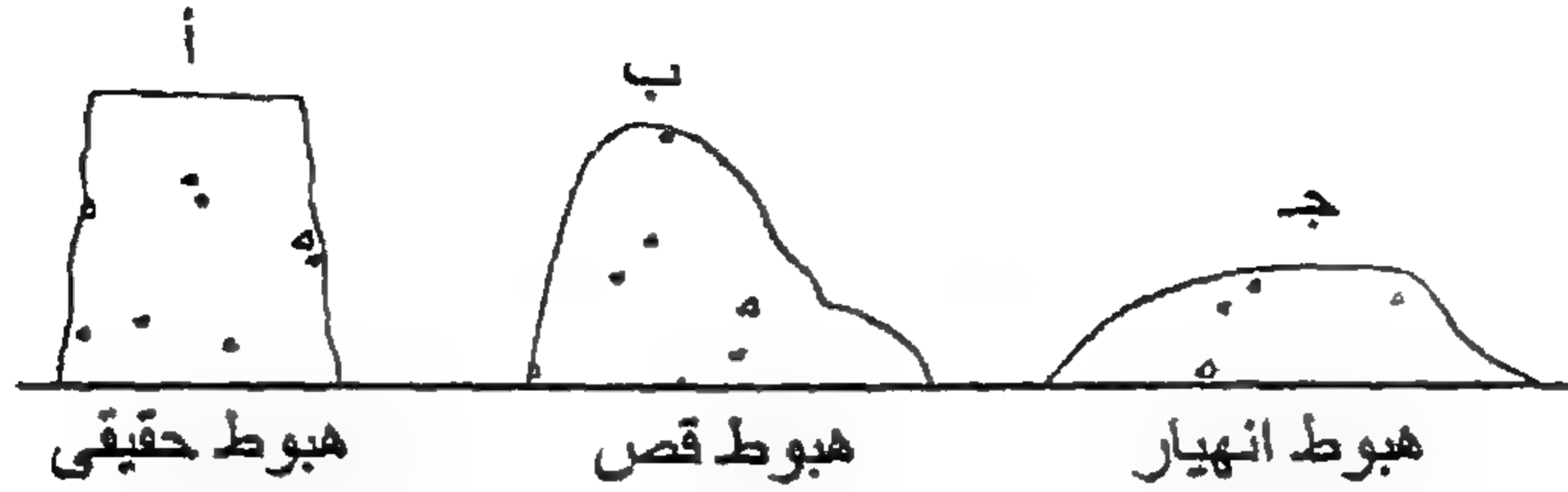
1. ينظف السطح الداخلي للمخروط، ويبلل سطحه الداخلي بالماء أو زيت لكي يسهل رفع المخروط بعد ذلك.
2. توضع الخرسانة المراد تعيين قوامها في المخروط على ثلاث طبقات مع دمك كل طبقة 25 مرة بقضيب الدمك القياسي (قطر 16 مم).
3. يسوى سطح الخرسانة عند نهاية المخروط، ثم يرفع المخروط بحرص وببطء، ثم يقاس هبوط الخرسانة بالنسبة لقمة المخروط. ويجب أن يكون الهبوط صحيح ليس ناتج عن صدم للخرسانة بالمخروط المعدني، ولذلك يجب إعادة الاختبار مرة أخرى إذا حدث هبوط قص أو هبوط انهيار. فإذا تكرر حدوث هبوط القص أو هبوط الانهيار، دل ذلك على أن الخلطة يجب إعادة تصميمها. ويمكن تقسيم الخرسانة إلى أنواع قوام مختلفة على حسب هبوطها كما بجدول (1-3).

جدول (3-1) تقسيم القوام بناءً على قيمة الهبوط

الهبوط (سم)	صفر-2	2-4	4-12	12-20	أكبر من 20
قوام الخلطة	جاف	صلب	لدن	مبلل	مائي

4. احكم على الهبوط بالمقارنة بالمواصفات الموضوعية للعملية.

شكل رقم (3-2) يوضح أشكال الهبوط المتوقعة.



شكل (3-2) أشكال الهبوط المتوقعة

ـ احتياطات اختبار الهبوط:

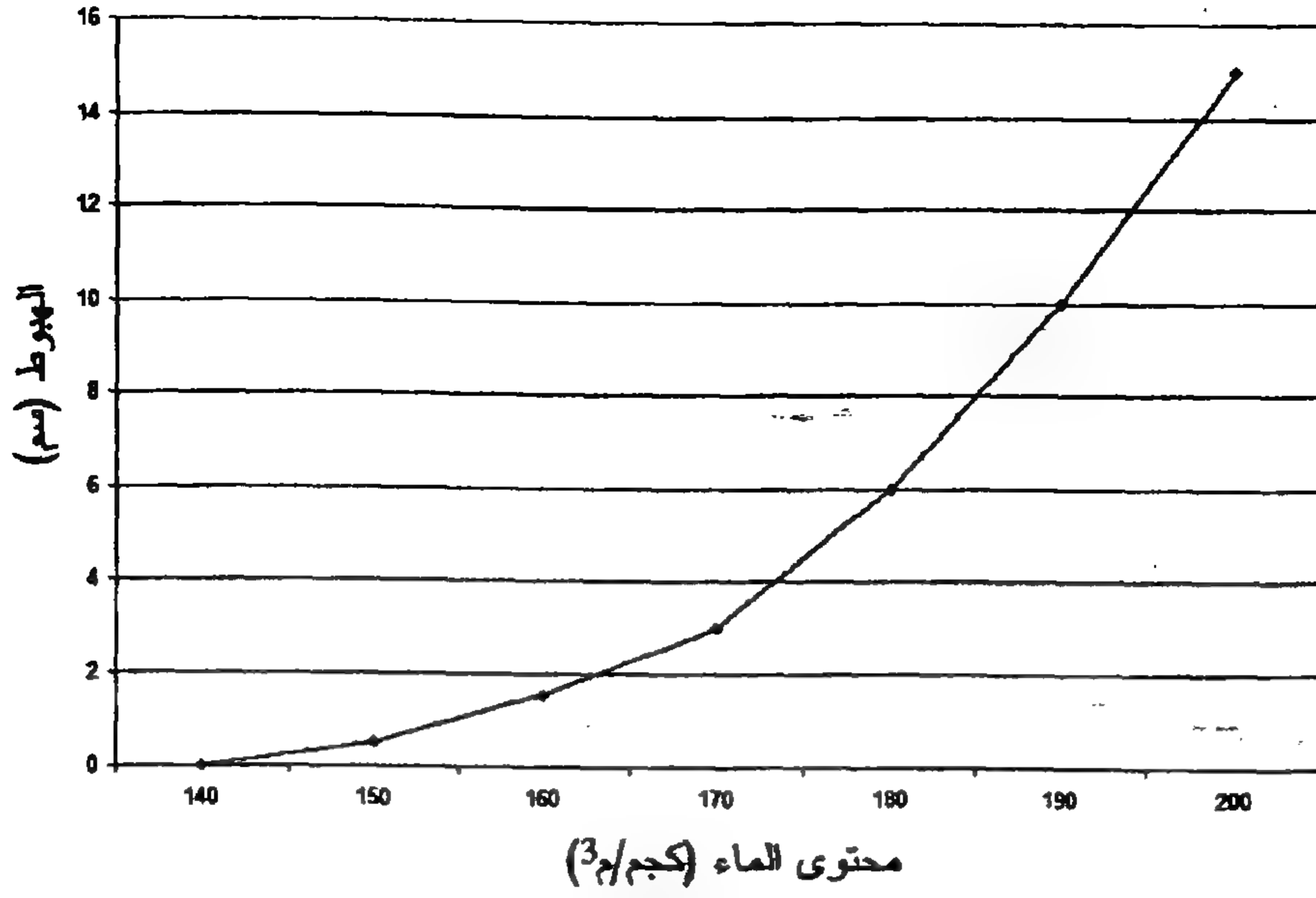
- لا يمكن قياس هبوط خرسانة مستخدمة فيه ركام مقاسه الإعتباري الأكبر أكبر من 4سم، وفي تلك الحالة يجب استبعاد أى ركام مقاسه أكبر من 4سم.
- يجب عمل طبليّة أفقية تماماً في الموقع لوضع الجهاز عليها.
- يجب أن يقوم بإجراء الاختبار خبير، ولايسمح بإحداث صدمات أفقية أو رأسية عند رفع المخروط المعدني.
- يجب إجراء الاختبار عدة مرات عبر يوم العمل في الموقع.
- للهبوط الأقل من 5 سم يمكن السماح بـ  $\pm 1$  سم.
- للهبوط من 5-10 سم يمكن السماح بـ  $\pm 2$  سم.
- للهبوط الأكبر من 10 سم يمكن السماح بـ  $\pm 3$  سم.

ـ العوامل المؤثرة على هبوط الخرسانة:

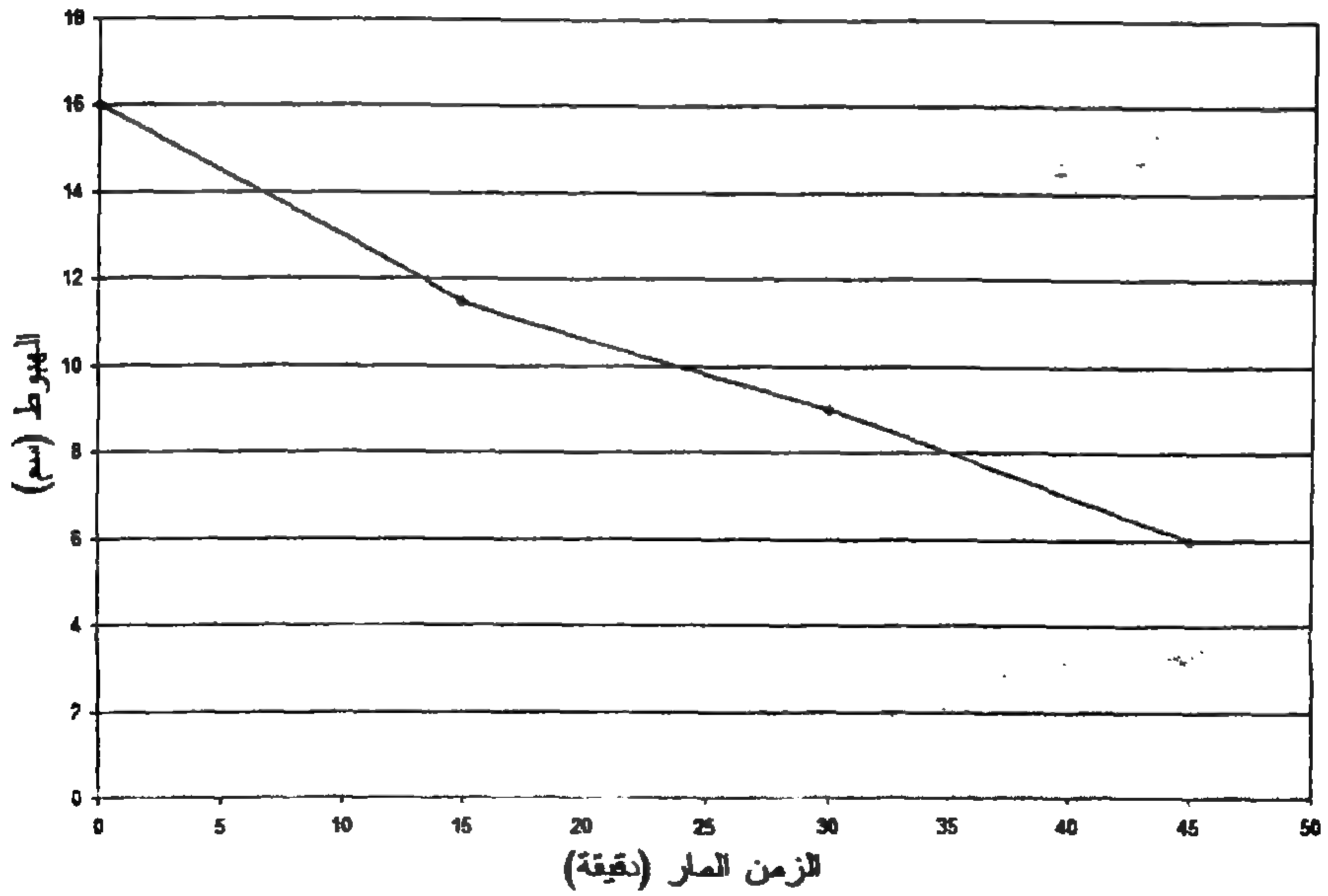
1. محتوى الماء:  
كلما زاد محتوى ماء الخلطة يزيد الهبوط، وذلك نظراً لقلّة الاحتكاك، و يتضح ذلك من شكل (3-3).

2. الزمن المار من لحظة الخلط:

- بعد الخلط يبدأ الأسمنت في الاتحاد مع ماء الخلط، وتبدأ الخرسانة مع مرور الزمن في فقد هبوطها حتى تفقد الهبوط كلياً، وتبدأ بعد ذلك في التصلب. وشكل (3-4) يوضح هذه الظاهرة.



شكل (3-3) العلاقة بين محتوى الماء بالخلطة و الهبوط



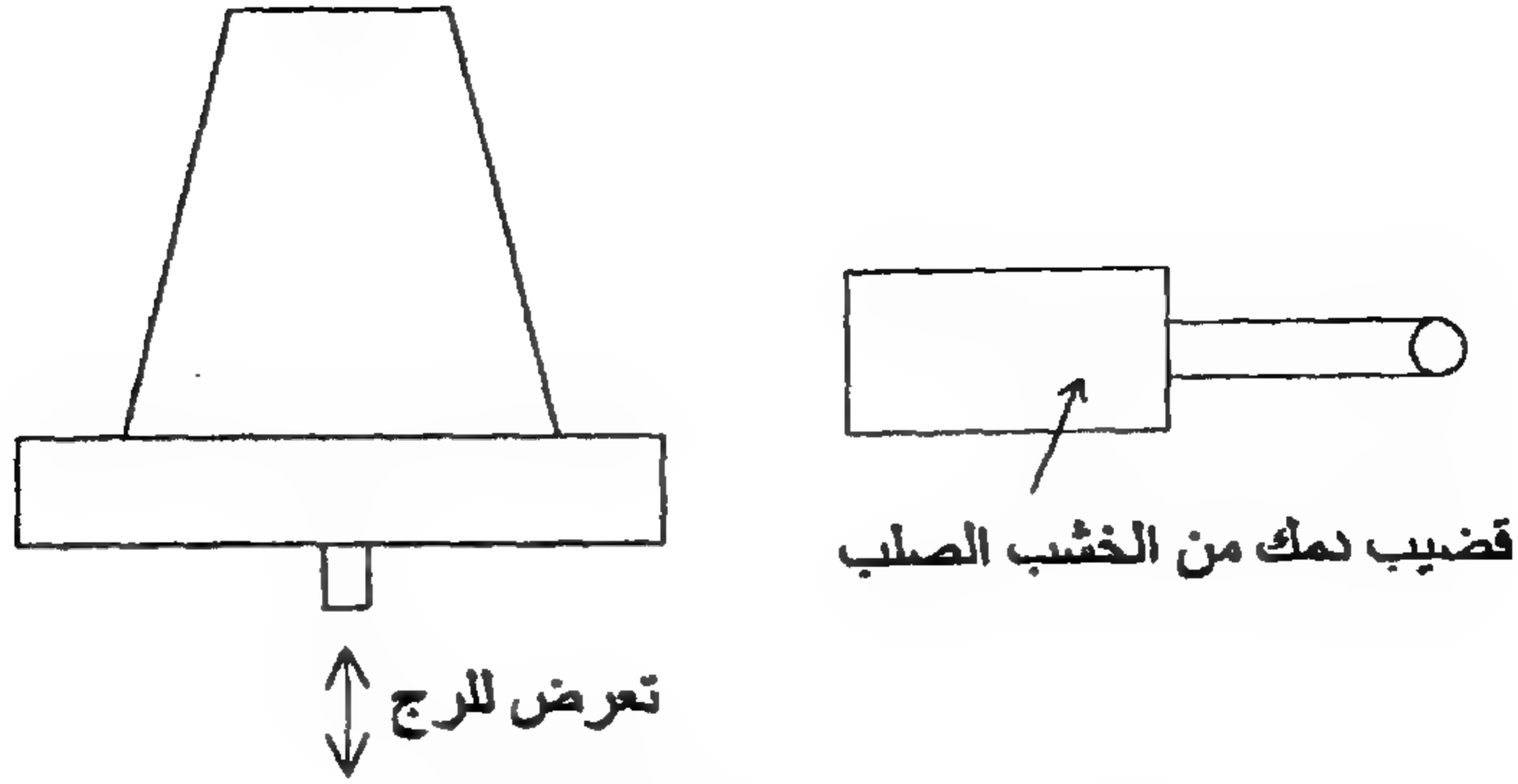
شكل (3-4) تأثير الزمن المار على هبوط الخرسانة

وتوجد عوامل أخرى مثل خواص الركام وتأثير درجة حرارة الجو وتأثير الإضافات الكيميائية؛ والتي سوف نذكر لاحقاً.



### 3-2 اختبار الانسياب Flow Test:

الغرض من هذا الاختبار هو دراسة النسبة المئوية لانسياب الخرسانة التي تعبر عن نوع قوامها، ويستخدم لذلك الاختبار الجهاز المبين بشكل رقم (3-5).



شكل (3-5) فكرة منضدة الانسياب

#### خطوات الإختبار :

1. ينظف قاعدة الجهاز جيداً، وكذلك القالب الخاص بالجهاز مع تنظيف القالب جيداً قبل الاستخدام.
2. يوضع القالب فوق قاعدة الجهاز في مكانه الصحيح حيث يوضح القالب في مركز الجهاز تماماً.
3. يتم ملء القالب بالخرسانة المراد اختبارها على طبقتين مع دمك كل طبقة 10 مرات باستخدام قضيب الدمك القياسى.
4. يرفع للقالب المعدنى ويشغل الجهاز، حيث يسمح لقاعدة الجهاز بالارتفاع والانخفاض لمسافة قياسية  $2\frac{1}{2}$  بوصة وذلك 15 مرة في فترة 60 ثانية في المتوسط.
5. نتيجة لعملية الاهتزاز السابقة يتحول شكل المخروط إلى شكل غير منتظم، ثم يتم قياس القطر المتوسط لذلك الشكل عن طريق قياس القطر في عدة اتجاهات و تحسب النسبة المئوية للانسياب كما يلي:

$$\frac{\text{القطر المتوسط} - 20}{20} \times 100$$

ومن المهم التأكيد على أن أبعاد المخروط تختلف حسب نوع المواصفة. وتعطى قيم النسبة المئوية للانسياب دلالة على قوام الخرسانة كما هو موضح بجدول (3-2).

جدول (3-2) تقسيم القوام بناءً على النسبة المئوية للانسياب

النسبة المئوية لانسياب (%)	صفر-20	20-60	60-100	100-120	أكبر من 120
قوام الخرسانة	جاف	صلب	لدن	مبئل	مائي

وفي بعض الأبحاث قد يكون القطر المتوسط معبراً عن الاتساق. ويفيد هذا الاختبار كذلك في الحكم على قابلية الخرسانة للانفصال نتيجة تعرضها للرج، وشكل (3-6) يوضح كيفية استخدام ذلك.



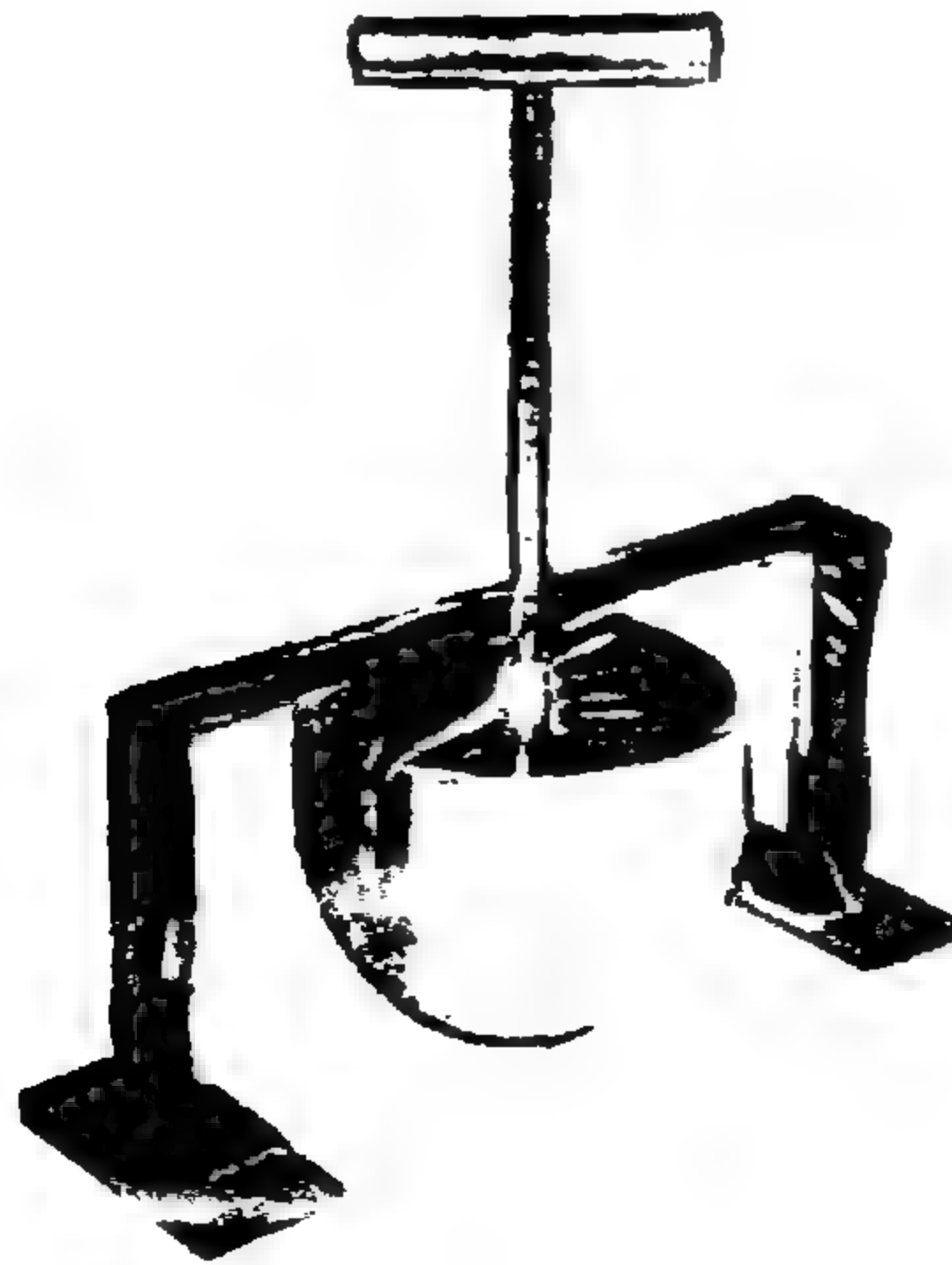
شكل (3-6) الحكم على حدوث الانفصال أو للتزيف

### 3-2-3 اختبار كرة الاختراق:

ويشبه هذا الاختبار إلى حد ما اختبار الهبوط، وتعتمد فكرة ذلك الاختبار على اختراق جزء من كرة لها وزن معين (حوالي 13.6 كجم) لسطح الخرسانة، ويمكن إجراء ذلك الاختبار للخرسانة وهي في الشدة في الموقع، ويمكن إجراؤه في المعمل أيضاً، وتتلخص خطوات الاختبار فيما يلي:

1. تسوية للخرسانة المراد اختبارها جيداً مع مراعاة ألا يقل سمك للخرسانة المختبرة عن 15 سم حيث تتأثر قيم الاختراق بسمك الخرسانة المختبرة حيث يزداد قيم الاختراق بزيادة سمك الخرسانة.

2. يوضع الجهاز فوق الخرسانة المختبرة، ويسمح للكرة باختراق للخرسانة المختبرة تحت تأثير وزنها، ويقاس قيمة الاختراق، ويجب تكرار الاختراق في أماكن مختلفة وحساب القيمة المتوسطة، لذلك الاختراق، ويبين شكل (3-7) للجهاز.



شكل (3-7) اختبار كرة كبلى

### 3-3 تشغيل الخرسانة (Workability):

وتشغيلية الخرسانة هي الخاصية التي تعبر عن سهولة خلط ونقل وصب ودمك وتسوية سطح الخرسانة دون حدوث نزيف أو انفصال للخرسانة، والهدف من خاصية التشغيلية هو ملء شدات الخرسانة لتأخذ الخرسانة شكل العضو الإنشائي، ولتحقق المنظر المعماري دون تشوهات أو حدوث تعشيش (فجوات صغيرة بالخرسانة)، أو حدوث نسبة فراغات عالية. ولذلك يمكن إجمال تعريف التشغيلية على أنها مقدار الشغل المبذول لإنتاج خرسانة تامة الدمك بدون حدوث انفصال أو نزيف بها. وكلما اقتربت الخرسانة من كونها سائل، فسوف تسلك سلوك السوائل، حيث تملأ الشدات دون الحاجة إلى أى دمك خارجي، وهذا ما توصل إليه المهندسون خلال العقد الأخير بواسطة إضافات خاصة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك. وكلما اقتربت الخرسانة من كونها جافة، فإنها تقترب من التربة والمواد الصلبة التي يصعب أن تملأ الشدات بدون الحاجة لطاقة خارجية لدفع الخرسانة للحركة لملء الشدات وتقليل الفراغات فيما بينها للحصول على أعلى كثافة ممكنة.

### 3-3-1 الانفصال (Segregation):

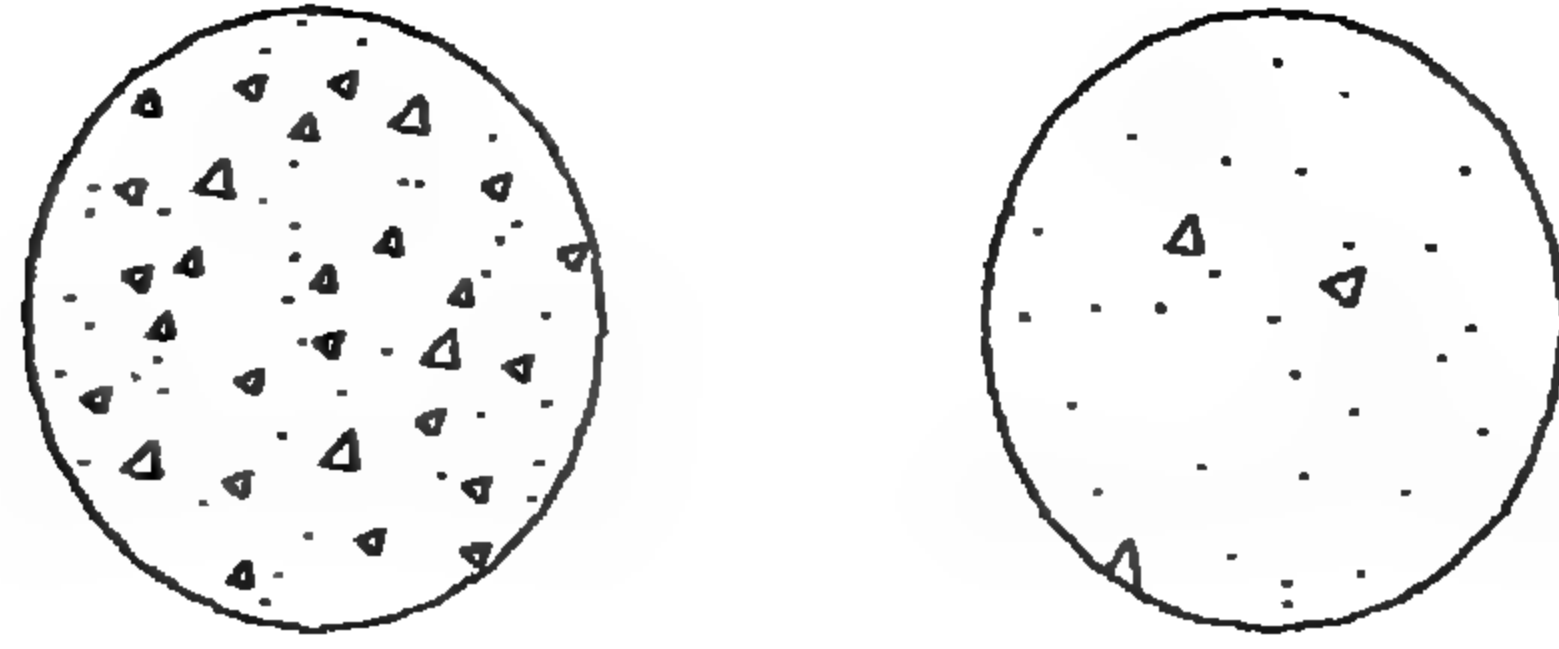
الأصل في صب الخرسانة أن تكون الخرسانة متجانسة أو قريبة من التجانس. فإذا أخطأ المهندس في تصميم الخلطة أو أخطأ في التنفيذ؛ بحيث تزيد نسبة الركام الكبير في جزء من العضو عن نسبته في باقي الأجزاء، يقال أن الخرسانة حدث بها انفصال وهذا يؤدي إلى ضعف المقاومة والتحملية. ويعتبر صب الأعمدة من ارتفاعات عالية مثال لتعرض الخرسانة للانفصال في حالة عدم الاحتياط.

### 3-3-2 النزيف (Bleeding):

إذا استخدم المهندس كمية كبيرة من الماء ، وعرضت الخرسانة لهز زائد أو عرضت الخرسانة لهز خاطئ ، يصعد ماء الخلط لأعلى سطح الخرسانة حاملاً حبيبات الأسمنت لأعلى، مما يفقد الخرسانة تجانسها، وهذا الماء قد يتجمع أسفل صلب التسليح بحيث يسبب نقص في مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح، وتجمعه كذلك تحت الركام الكبير، وخاصة الركام المفلطح منه (Flaky) يسبب نقص الترابط بين الركام ومونة الأسمنت.

### 3-3-3 العوامل المؤثرة على التشغيلية:

1. خواص الركام:  
الركام الدائري مثل الزلط يحقق تشغيلية أفضل من الركام الزاوي مثل كسر الأحجار. والركام الناعم وقليل المسام السطحية يحقق تشغيلية أفضل من الركام الخشن وعالي مسامية السطح. الركام عالي الامتصاص للماء يقلل التشغيلية. والركام جيد التدرج يقلل التشغيلية عن الركام منتظم التدرج.
2. محتوى عجينة الأسمنت والرمل بالنسبة للركام الكبير:  
كما هو واضح من شكل (3-8) يتضح أنه كلما زاد محتوى العجينة تحسن تشغيلية الخرسانة نظراً لنقص الاحتكاك.



عجينة قليلة  
تشغيلية لفضل

محتوى عجينة عالي  
تشغيلية لفضل

شكل (3-8) تأثير محتوى عجينة الأسمنت على التشغيلية

3. محتوى الماء:  
كلما زاد محتوى الماء في الخلطة يقل الاحتكاك بين الحبيبات فتحسن للتشغيلية، ولكن إذا تخطى حد معين قد يحدث نزيف مما يؤدي إلى نتائج عكسية.
4. الإضافات المحسنة للتشغيلية:  
إن استخدام المواد الملدنة والمواد عالية التلدين تحسن للتشغيلية. وتضاف هذه المواد إلى جزء من مياه الخلطة، وتقدر بنسبة من وزن الأسمنت المستخدم في الخلطة الخرسانية، وتتراوح هذه النسبة من 1 إلى 3% من وزن الأسمنت للمواد عالية التلدين.
5. الهواء المحبوس زيادته تحسن من تشغيلية الخرسانة.

### 3-3-4 اختبارات التشغيلية:

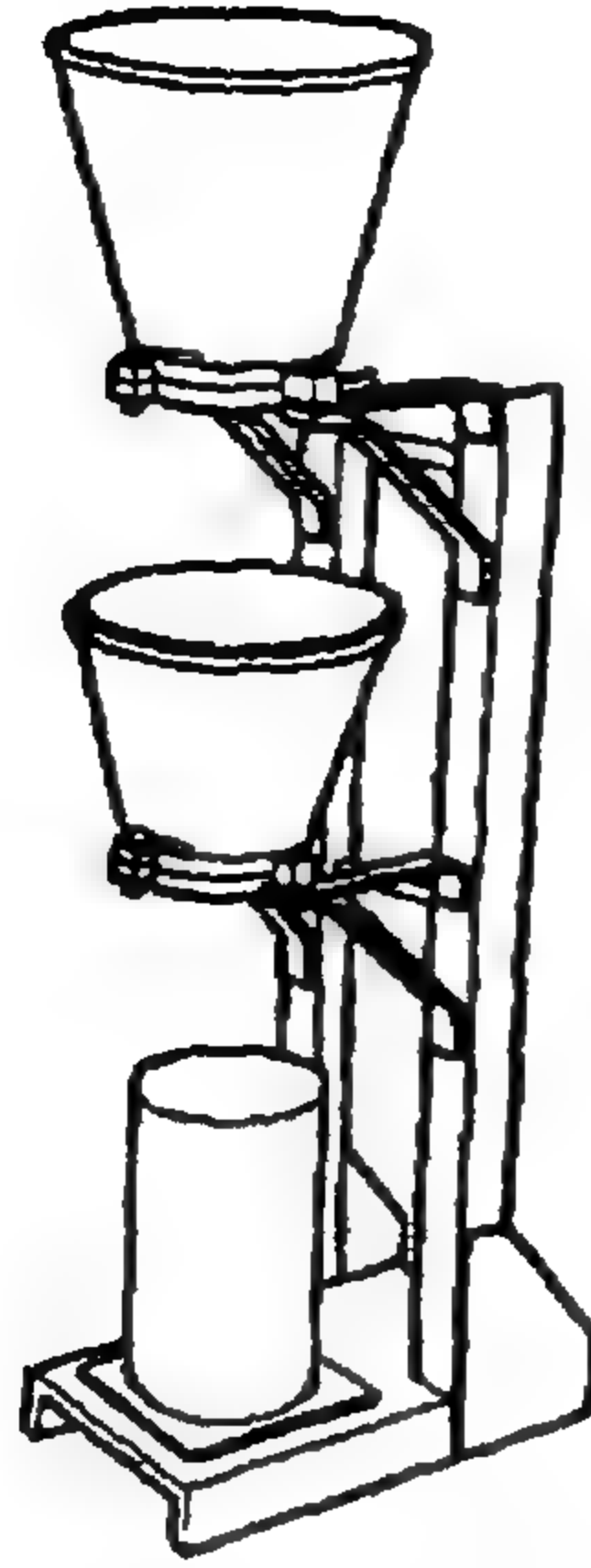
وهناك عدة طرق لتعيين قابلية الخرسانة للتشغيل وهي:

- أ. اختبار معامل الدمك Compacting Factor Test.
- ب. اختبار إعادة التشكل Remolding Test.
- ج. اختبار في بي V.B. Test.

### أ - اختبار معامل الدمك Compacting Factor:

ويستخدم هذا الاختبار لتعيين تشغيلية الخرسانة التي لايزيد مقاسها الاعتباري الأكبر عن 4سم. وصنم هذا الجهاز (عدد 2 مخروط واسطوانة) على أساس عمل محاكاة للخطوات التي تمر بها الخرسانة أثناء نقلها وصيها ودمكها ، شكل (3-9) يوضح هذا الجهاز.





شكل (3-9) اختبار معامل الدمك

#### خطوات الاختبار:

1. تجهيز الخرسانة المراد اختبارها طبقاً لمتطلبات المواصفات القياسية.
2. توضع الخرسانة في المخروط العلوي ، ويسوى سطحها، وفي هذه الحالة يكون المخروط العلوي مغلق من أسفل.
3. يفتح باب المخروط العلوي، ويسمح للخرسانة بالسقوط تحت تأثير وزنها لتسقط داخل المخروط السفلي.
4. يسمح للخرسانة الموجودة في المخروط السفلي بالسقوط في الاسطوانة.
5. نسوى سطح الخرسانة جيداً، ثم توزن وهي مملوءة بالخرسانة ، ويعين وزن الخرسانة في هذه الحالة (مدموكة دمكا جزئياً).
- (وزن الخرسانة المدموك جزئياً = وزن الاسطوانة وهي مملوءة - وزن الاسطوانة فارغة)
6. يعاد ملء الاسطوانة بالخرسانة على ثلاث طبقات، مع دمك كل طبقة يدوياً بعدد لا يقل عن 30 دمكة أو ميكانيكياً بواسطة هزاز، ويعين وزن الاسطوانة وهي ممتلئة كلياً.
- (وزن الخرسانة المدموكة دمكا كلياً = وزن الاسطوانة المدموكة دمكا كلياً - وزن الاسطوانة فارغة)

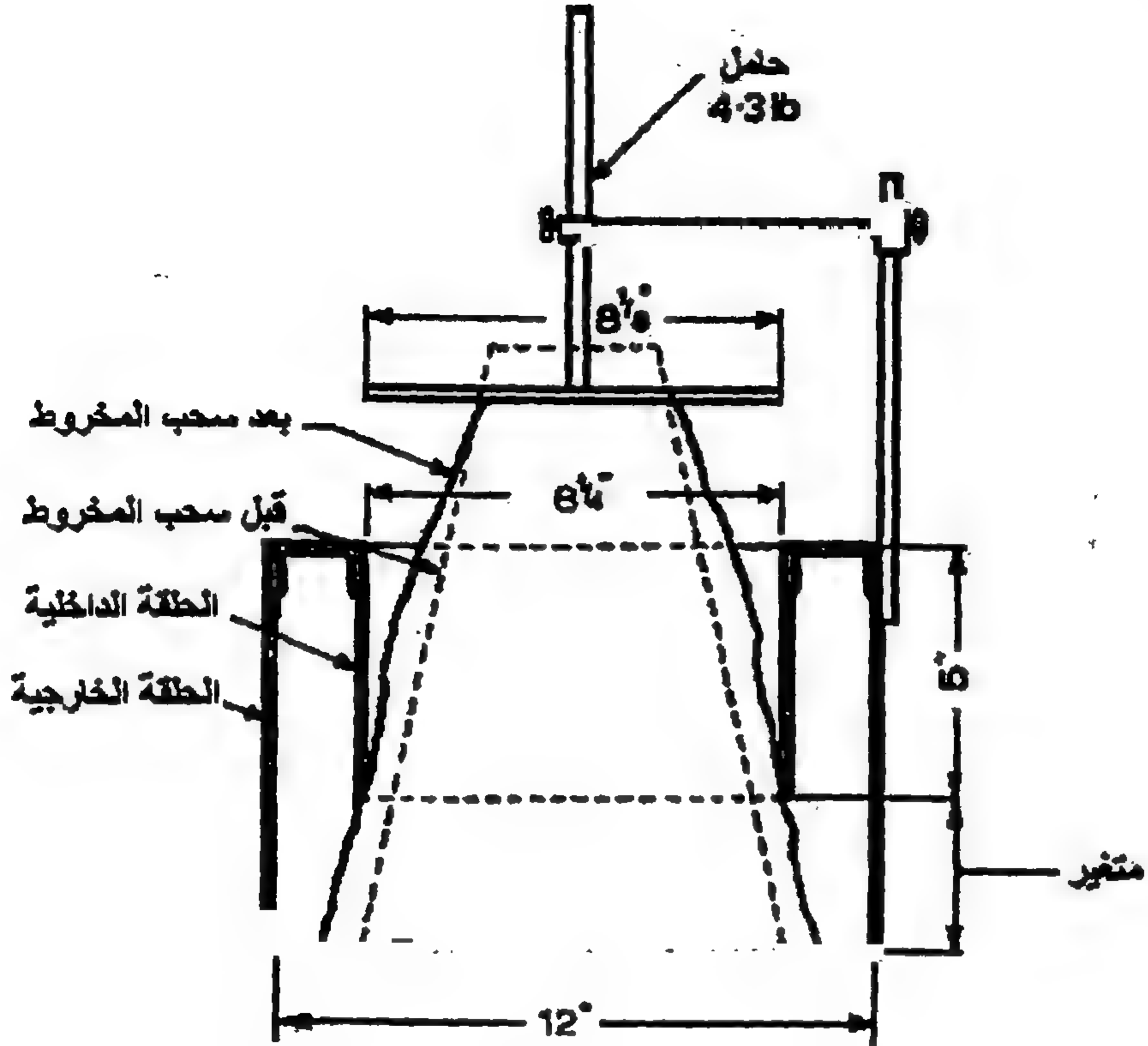
$$\text{معامل الدمك} = \frac{\text{وزن الخرسانة المدموكة جزئياً}}{\text{وزن الخرسانة المدموكة كلياً}} \times 100$$

وتتراوح قيمة معامل الدمك من 70-98%.

ولا يعبر هذا الاختبار بدقة عن تشغيلية الخرسانة منخفضة التشغيلية (أقل من 70)، أو عن تشغيلية الخرسانة المرتفعة (أكبر من 98).

ب - اختبار إعادة التشكل : Remolding Test :

ويُقاس ذلك الاختبار تشغيلية الخرسانة عن طريق معرفة الشغل اللازم لتحويل شكل الخرسانة من مخروط إلى اسطوانة عن طريق رجات ترددية ( ارتفاع الرجه 6.3 مم ) للعينه. ويستخدم لذلك الاختبار اسطوانة خاصة بهذا الاختبار وشكلها كما هو موضح بشكل (10-3).



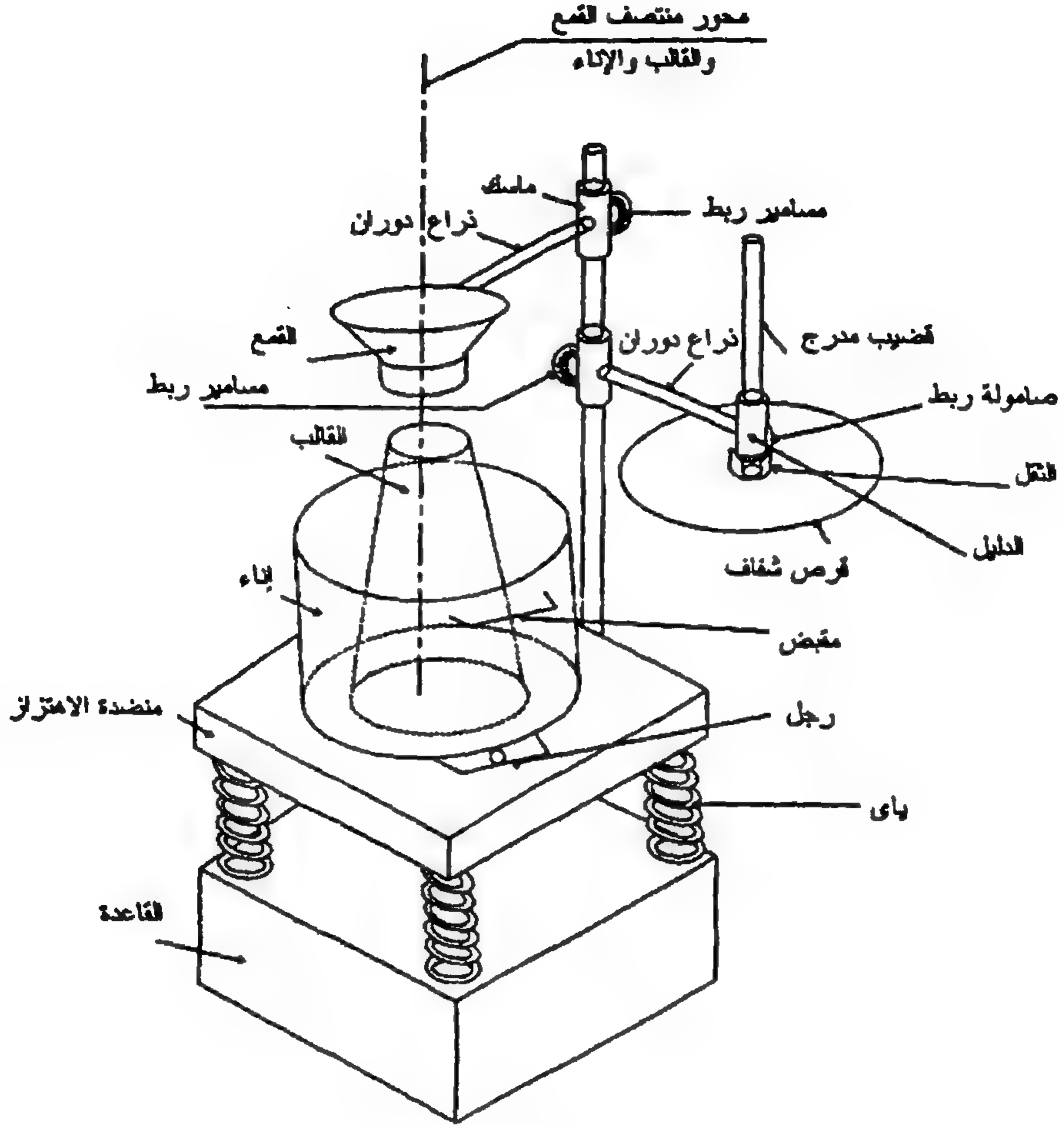
شكل (10-3) اختبار إعادة التشكل

خطوات الاختبار:

1. يوضع مخروط للهبوط في اسطوانة الجهاز ، كما هو موضح بالشكل.
2. يُمَلأ المخروط بالطريقة القياسية.
3. يرفع المخروط ، ويوضع فوق الخرسانة لوح زجاجي يزن مع القضيب الحامل له حوالي 2 كجم .
4. تُرَج منضدة الجهاز بمعدل رجة كل ثانية ، حتى ينخفض اللوح الزجاجي فوق لوح القاعده حوالي 8.1 سم ، وهنا يقال أن المخروط تحول إلى اسطوانة ، ويقاس الجهد بعدد للرجات اللازمة لذلك . وكلما كان عدد للرجات كبير ، دل على أن للخرسانة جافة ، والعكس صحيح و بذلك يتم الحكم على التشغيلية بعدد للرجات.

### ج - اختبار في بي Ve-Be Test :

ويشبه اختبار (في بي) إلى حد ما اختبار إعادة التشكل ، مع تغير اسطوانة جهاز إعادة التشكل إلى اسطوانة عادية ، مع الاحتفاظ بمخروط الهبوط كما هو. وهنا في هذا الاختبار يقال أن المخروط تحول إلى اسطوانة عندما يغطي اللوح الزجاجي الخرسانة تماماً، شكل (11-3).



شكل (11-3) اختبار في بي

### خطوات الاختبار:

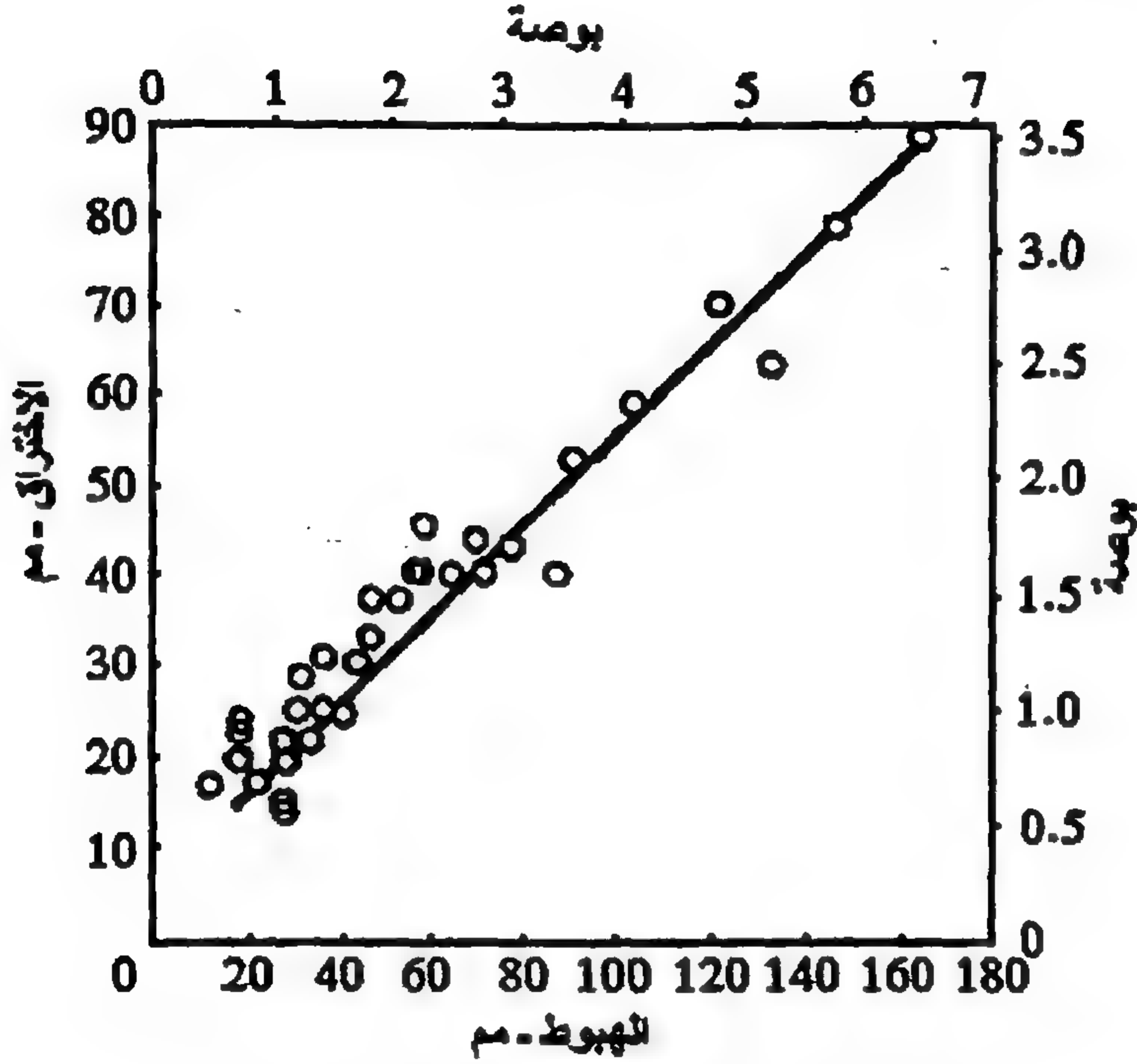
1. يوضع مخروط الهبوط في الاسطوانة كما بالشكل، ويملأ بالطريقة القياسية على 3 طبقات تدمك كل طبقة 25 دمكة.
2. يرفع المخروط ويجب أن يهبط مخروط صحيح ولا يحدث به قص أو يلامس الاسطوانة ، ويوضع اللوح الشفاف على الخرسانة ويترك حراً ، ويتم تشغيل منضدة الاهتزاز ،

ونحسب زمن الهز اللازم حتى تغطية السطح السفلى للوح الشفاف بمونة الأسمنت. وتقاس التشغيلية بالزمن اللازم لتحويل المخروط إلى اسطوانة عند اللحظة السابقة.

وتعتبر هذه الطريقة أفضل الطرق المستخدمة في قياس تشغيلية للخرسانات الجافة ويعتبر غير مناسب للخلطات التي تعطى زمن في بي أقل من 5 ثوانى.

د - العلاقة بين نتائج الاختبارات المختلفة:

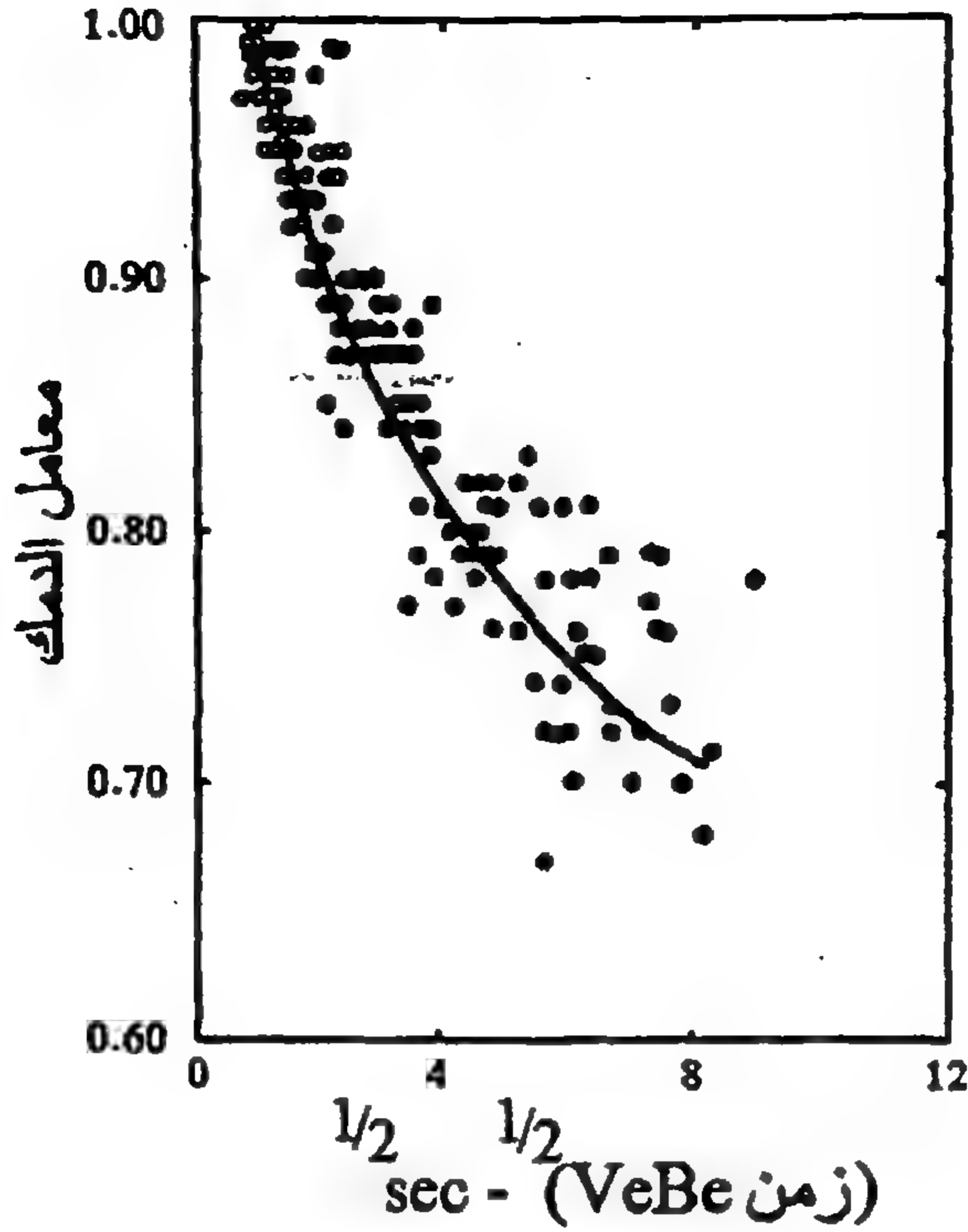
شكل (3-12) يوضح العلاقة بين نتائج اختبار الهبوط و نتائج اختبار كرة كيللى و الذى تم إجراؤهما على نفس الخرسانة.



شكل (3-12) العلاقة بين الهبوط و مسافة الاختراق لكرة كيللى

وشكل (3-13) يوضح العلاقة بين اختبار في بي و اختبار معامل للدمك و الذى تم إجراؤهما على نفس الخرسانة.





شكل (3-13) العلاقة بين زمن في بي و معامل الدمك

### 3-4 الهواء المحبوس *Air Entrained*:

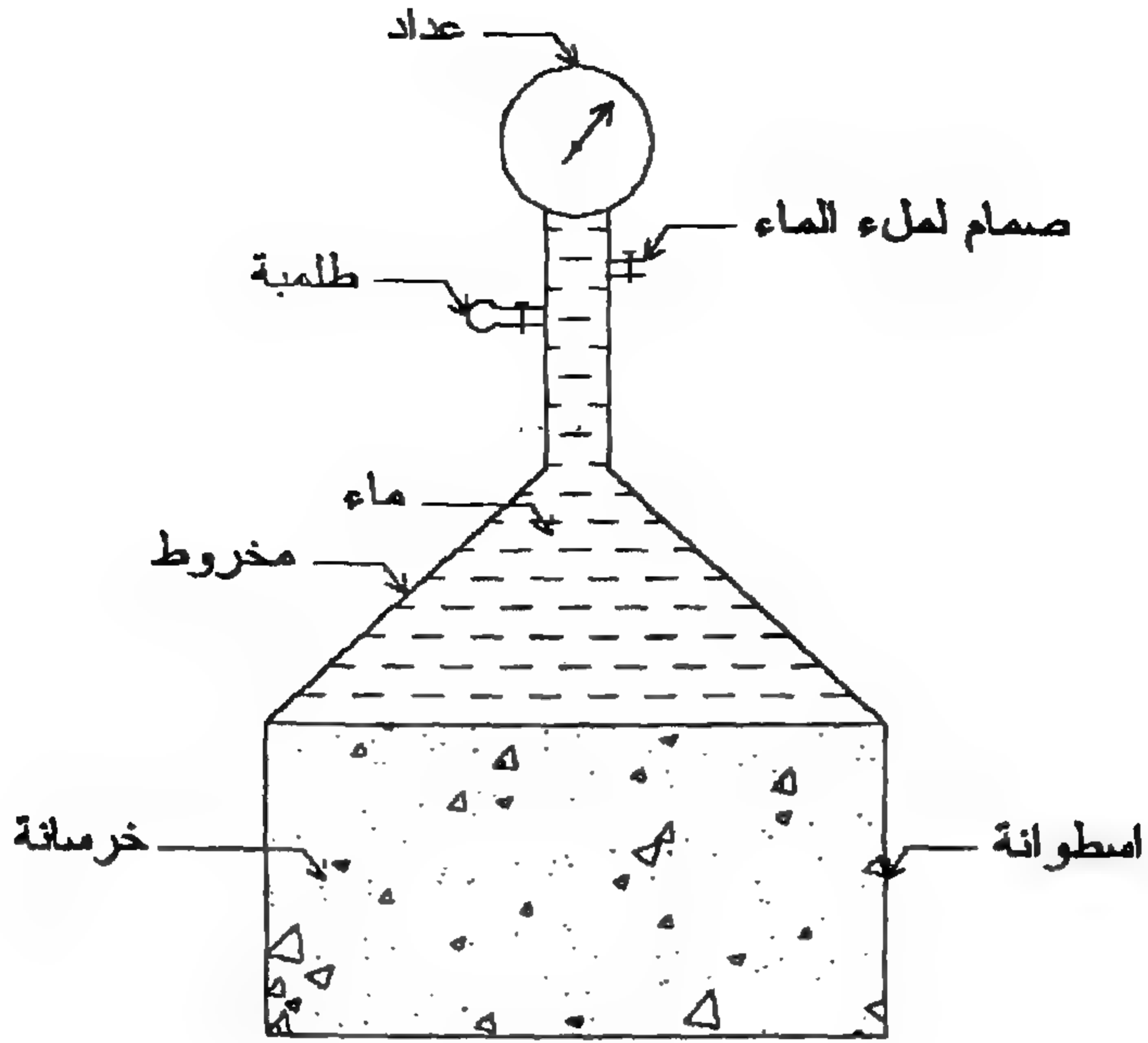
بعد صب الخرسانة ويمكنها يتبقى جزء من حبيبات الهواء محصور داخل الخرسانة، ويطلق على الهواء في تلك الحالة بالهواء المحبوس عرضاً. أما في أوروبا والمناطق التي تتعرض للصقيع، ونظراً لتعرض الخرسانة لعملية الصقيع حيث يتعرض الماء الموجود داخل الخرسانة للتجمد، فيزيد حجم الماء ويولد ضغط على الخرسانة ثم يذوب الثلج، وتتكرر عملية التجمد وذوبانه، مما قد يعرض المنشآت للتدهور وظهور شروخ بها، ولذلك يتم إنتاج خرسانة ذات هواء محبوس تتراوح نسبته بين 4 و 8.5%. وتتوقف نسبة الهواء المحبوس أساساً على المقاس الاعتباري الأكبر للركام، فكلما صغر المقاس الاعتباري، زادت نسبة الهواء المحبوس التي تستطيع الخرسانة احتواءها.

### 3-4-1 طريقة اختبار تحديد محتوى الهواء المحبوس بطريقة الضغط:

#### *Air Content of Concrete Using Pressure Method:*

يحدد هذا الاختبار محتوى الهواء المحبوس في خلطة خرسانية غير مستخدم فيها ركام خفيف أو بها نسبة مسام عالية.

تُملأ الاسطوانة بالخرسانة الطازجة وتدمك قياسياً، ثم يملأ المخروط بالماء ثم يعرض لضغط قياسي، ثم نقرأ الهواء المحبوس من على العداد، انظر شكل (3-14).



شكل (3-14) تحديد نسبة الهواء المحبوس

### 3-4-2 تأثير الهواء المحبوس على خواص الخرسانة الطازجة:

يلاحظ أن قطر حبيبات الهواء المحبوس أصغر من قطر حبيبات الأسمنت؛ مما يجعل حبيبات الهواء تنتشر بين مكونات الخرسانة مقللة قوى الاحتكاك بين مكونات الركام، لذلك فإن وجود الهواء المحبوس يحسن من تشغيلية وزيادة هبوط (Slump) الخرسانة، ويقلل من حدوث النزيف والانفصال ويقلل من كثافة الخرسانة .

### 3-5-3 زمن التصلب Stiffening time

سبق أن ذكرنا أن الخرسانة تفقد لدونتها مع الزمن ، وعندما تفقد الخرسانة لدونتها تماماً يقال أنها تصلبت ابتدائياً ، وعندما تتصلب الخرسانة وتستطيع تحمل اجهادات ضغط قليلة يقال أنها تصلبت نهائياً ، وفي هذا الكتاب سيتم استخدام لفظ التصلب للفرقه بينه وبين شك الأسمنت ، ويتراوح زمن التصلب الابتدائي بين ساعتين وأربعة ساعات ، ويتراوح زمن التصلب النهائي بين 5 ، 8 ساعات ويتأثر هذا الزمن بحرارة ورطوبة الجو ، ووجود اضافات مؤجله أم معجله ويتأثر كذلك بقيمة هبوط الخرسانه . فكلما زادت درجة الحرارة وقلت الرطوبة النسبيه ، وقل الهبوط ، واستخدمت المواد المعجله يقل زمن التصلب ، وإذا استخدمت للمواد المؤجله يزيد زمن الشك ، ويتم تعريف زمن التصلد وتحديده عملياً كما يلي:

### 3-5-3-1 تعريف زمن التصلب الابتدائي والنهائي .

— زمن الشك الابتدائي هو الزمن من لحظة إضافة الماء للخرسانة القياسية وحتى اللحظة التي يكون عندها إجهاد الإختراق لقضيب قياسي = 3.5 ن/مم<sup>2</sup> .

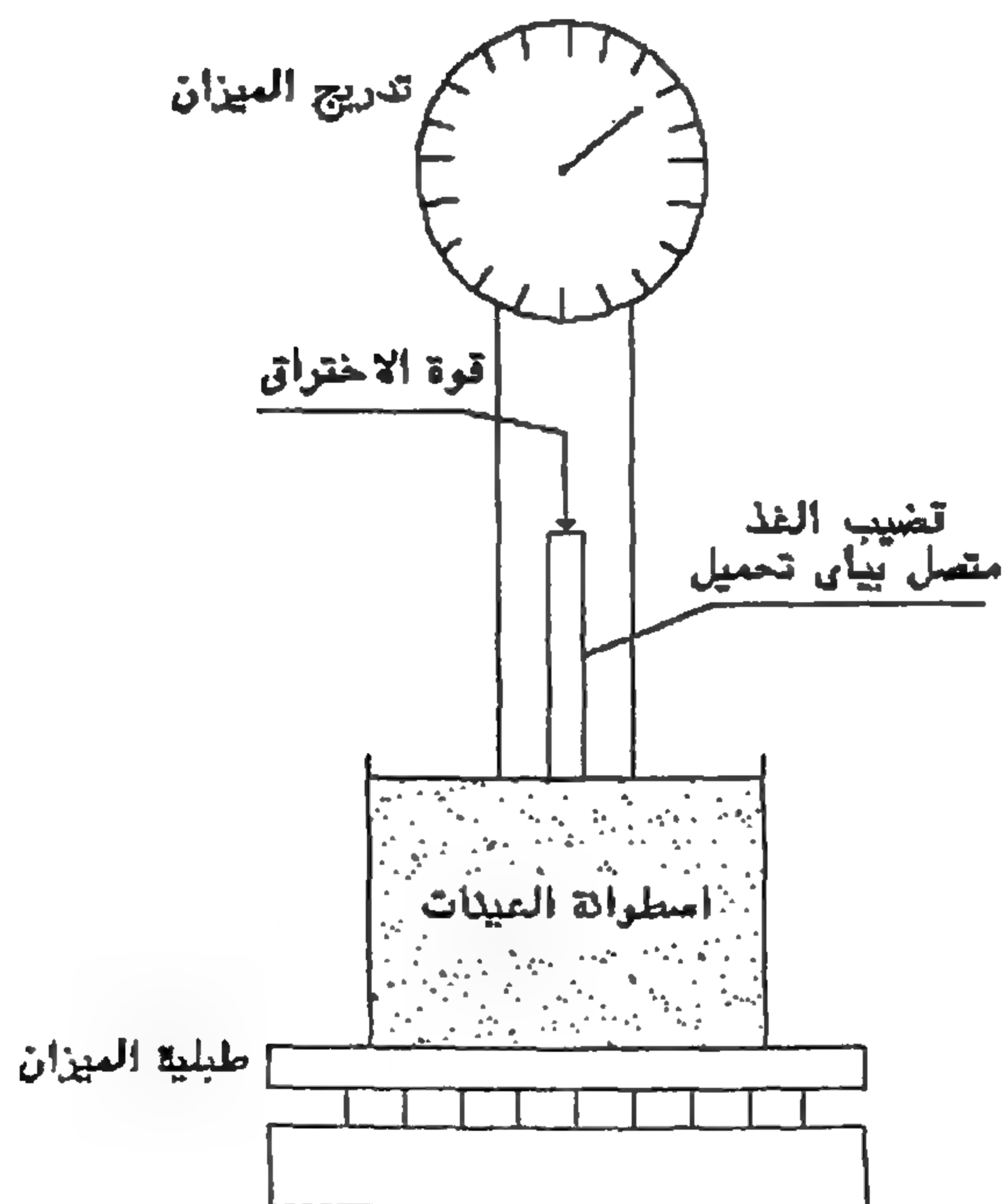
— زمن الشك النهائي هو الزمن من لحظة إضافة الماء للخرسانة القياسية وحتى اللحظة التي يكون عندها إجهاد الإختراق لقضيب قياسي = 27.6 ن/مم<sup>2</sup> .

### 2-5-3 إختبار مقاومة الإختراق لتعيين زمن شك الخرسانة

#### Test Method for Determination of Concrete Setting Time by penetration Resistance

— تستخدم تلك الطريقة لتحديد زمن التصلب الابتدائي والنهائي للخرسانة وهو يختلف عن شك الأسمنت ويجب استخدام مونه الخرسانة بعد إستبعاد الركام الأكبر من 16/3" .

— يستخدم جهاز الإختراق والذي يتكون من قضيب إختراق معدني اسطواني (قضيب الغرز) مساحة مقطعه يتراوح بين 16 الى 645 مم<sup>2</sup> ويوجد حز دائري على بعد 25 مم من نهاية قضيب الإختراق وهذا القضيب يتصل بياي ، ويوجد ميزان لقياس القوة التي يقابلها القضيب عند إختراقه للمونه الخرسانية الموضوعه في وعاء اسطواني ( قطره وإرتفاعه لا يقل عن 152 مم ) . وشكل (3-15) يوضح رسم تخطيطي لجهاز الإختراق لتحديد زمن التصلب



شكل (3-15) شكل تخطيطي يوضح جهاز الإختراق لتحديد زمن التصلب

— يتم خلط الخرسانه وتخل الخرسانه على منخل 16/3" .

— الخرسانه الماره من منخل 16/3" يتم خلطها جيداً وتملاً بها ثلاث أوعيه .

— تترك الأوعيه لمدة ٢٤ ساعه بين ساعه أوساعتين للخلطات سريعة الشك وأربع ساعات للخلطات بطيئة الشك ( الأجواء الباردة) مع تغطيتها .

— يوضع الوعاء على الميزان ونضغط بواسطة جهاز الإختراق على قضيب الإختراق ليخترق القضيب المونه لمسافة 25 مم ونحدد قوة الإختراق على الميزان .  
— يتم تكرار الخطوه السابقه كل نصف ساعه وترسم للعلاقه بين اجهاد الإختراق الذى يساوي قوة الإختراق والزمن

مساحة قضيب الإختراق

— حدد زمن الشك الابتدائى والنهائى من التعريف التالى .  
— زمن الشك الابتدائى هو الزمن من لحظة إضافة الماء وحتى اللحظة التى يكون إجهاد الإختراق 3.5 ن/مم<sup>2</sup> .  
— زمن الشك النهائى هو الزمن من لحظة إضافة الماء وحتى اللحظة التى يكون إجهاد الإختراق 27.6 ن/مم<sup>2</sup> .

### 3-6 التعامل مع الخلطات الخرسانية :

#### 3-6-1 مقدمة :

يحتاج المهندسون معرفة طريقة لحساب الكميات اللازمة من مكونات الخرسانة التى تلائم صب منشأ معين ، ومما هو جدير بالذكر أن هناك خلطات حجميه وأخرى وزنيه ، ويقوم المهندس بحصر حجم المنشأ الذى سيتم صبة بالخرسانه ، وعن طريق تصميم الخلطة يستطيع المهندس حساب كميات الركام والأسمنت والماء والإضافه ، وسنتناول أسس التعامل مع الخلطات الخرسانية والتعرف على بعض التعاريف التى سيتم استخدامها .

#### 3-6-2 الحصيله (ح) Yield

ويقصد بها حجم الخرسانة الناتجه من استخدام شيكارة أسمنت وما يناسبها من المكونات الأخرى، فعندما نقول أن الحصيله 0.15 م<sup>3</sup> فمعنى هذا أن استخدام شيكارة أسمنت وما يناسبها من الركام والماء ينتج 0.15 م<sup>3</sup> خرسانه طازجه ، ويعنى ذلك أننا عندما نريد إنتاج 1م<sup>3</sup> فإننا فى حاجه لإستخدام 0.15/1 = 6.66 شيكارة أسمنت أى (333 كجم أسمنت) .

#### 3-6-3 معامل الأسمنت (م) Cement Factor

ويقصد به عدد الشكاثر الأسمنتيه اللازمه ومايناسبها من مكونات لإنتاج 1م<sup>3</sup> من الخرسانة الطازجه وتكون قيمة : م = 1/ح

#### 3-6-4 وحدة وزن الخرسانة $\gamma$ Unit weight

ويقصد به وزن الأسمنت والرمل والركام الكبير والماء والإضافه اللازمه لإنتاج متر مكعب من الخرسانة الطازجه ، أى أن وحدة الوزن = وزن مكونات الخرسانه مقسوماً على حجم معين من الخرسانة الطازجه بما بداخلها من الهواء المحبوس .

#### 3-6-5 معادلة الحجم المطلق Absolute Volume equation

يلاحظ أن الركام والأسمنت قبل اضافته للخلطة يحتوى بين حبيباته على فراغات . اذا درس أحد المهندسين حجم معين من الخرسانه الطازجه ، بعد صبها فى أحد الأعمده ، بعد تمكها بالهزات ، فسجد أن هذا الحجم يحتوى على حجم معين من الركام الكبير ، وحجم معين من الرمل والأسمنت والماء والإضافه . ولايمكن أن يقال أن حجم الفراغات تساوى حجم



الفراغات بين حبيبات الركام الكبير وبين حبيبات الرمل وبين حبيبات الأسمنت . من الأكيد أن الرمل يقوم بملا الفراغات بين حبيبات الركام الكبير ويقوم الأسمنت بالتغلغل والإستقرار على حبيبات الركام وفي الفراغات بين حبيبات الرمل ، ويقوم الماء بدور هام في تحقيق اللدونة الكافية لحركه مكونات الخرسانه ، لإحداث التداخل ومع وجود الدمك الخارجى تقل نسبة الفراغات ويتبقى جزء ضئيل يتراوح بين صفر ، 3% من حجم الخرسانه يملئه الهواء ونطلق عليه الهواء المحبوس ، فإذا كانت التشغيليه عاليه والدمك كامل وتم استخدام مواد بوزولانيه (لملا الفراغات الصغيره جداً) تقترب نسبة الهواء المحبوس من الصفر . وللتعامل مع الخلطات الخرسانية نستخدم معادلة الحجم المطلق والتي تحتاج لبعض الفروض وهى :

1 — حجم الخرسانة = الحجم الصلبه للمكونات (بدون فراغات) مضاف إليه الهواء المحبوس .

2 — الركام غير قابل لإمتصاص الماء ولايستطيع اعطاء ماء الى باقى المكونات لذلك نفرض أن الركام مشبع تماماً من الداخل وسطحه جاف . ومعادلة الحجم المطلق كما يلى :

$$\frac{C}{3.15} + \frac{W}{1} + \frac{S}{G_s} + \frac{G}{G_g} + \frac{Ad}{G_d} + A = 1m^3$$

حيث C = محتوى الأسمنت بالطن .

W = محتوى الماء بالطن .

S = محتوى الرمل بالطن .

G = محتوى الركام الكبير بالطن .

Ad = محتوى الإضافه بالطن .

A = الهواء المحبوس .

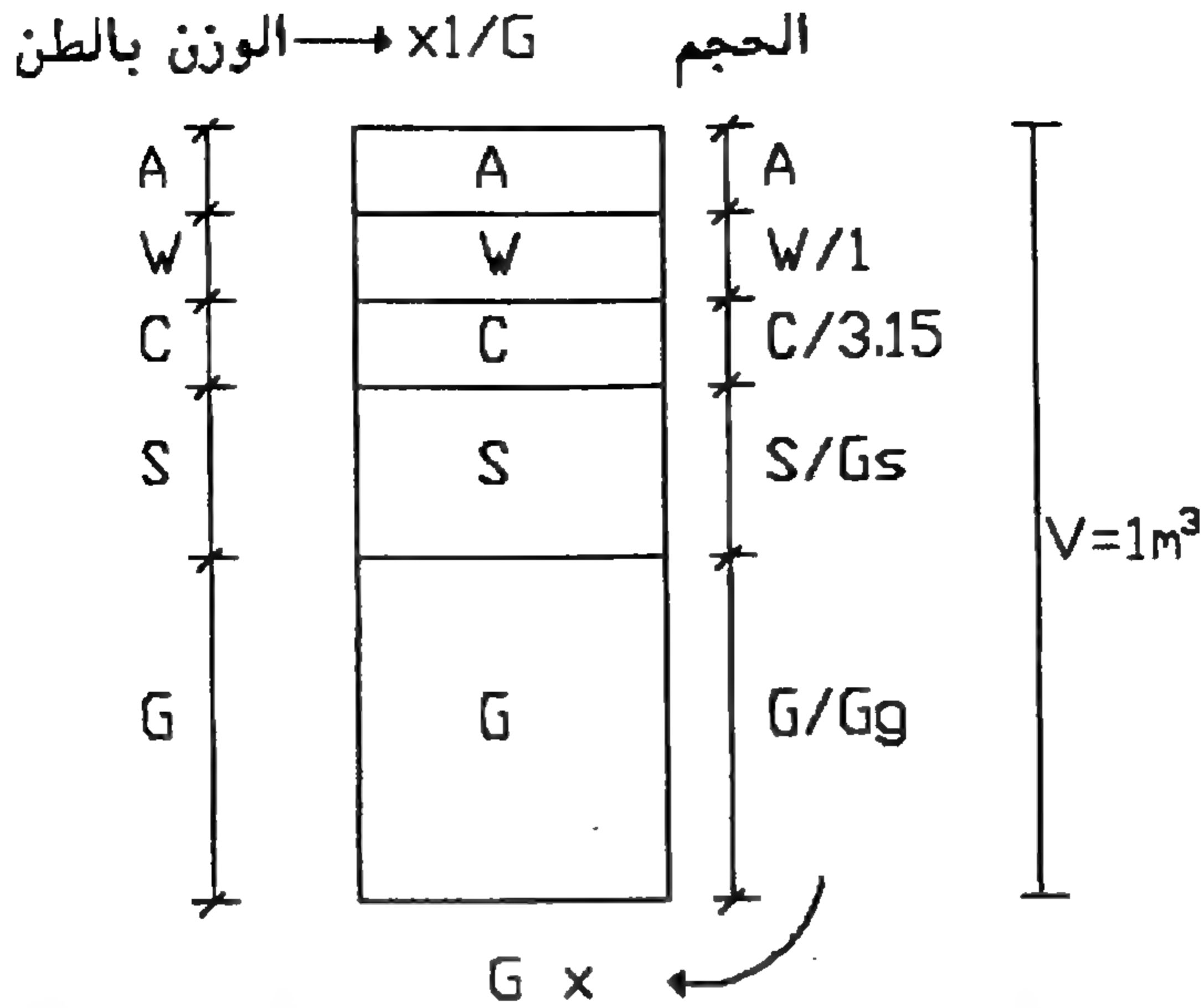
G<sub>s</sub> = الوزن النوعى للرمل .

G<sub>g</sub> = الوزن النوعى للركام الكبير .

G<sub>d</sub> = الوزن النوعى للإضافه .

ويلاحظ أن 3.15 هى الوزن النوعى للأسمنت .

ويمكن تمثيل هذه المعادلة بالمخطط التالى :



ومما هو جدير بالذكر أن بعض دول العالم تستخدم الياردة المكعبة ( 0.76 م³ ) .  
وبعض المراجع تهمل حجم الإضافات وهذا الفرض يمكن استخدامه في الإضافات الكيميائية  
ذات المحتوى الصغير فقط حيث يتم حالياً استخدام غبار السليكا بمحتويات عالية لا يمكن  
إهمالها. ومعادلة الحجم المطلق لا يمكن استخدامها في خرسانة الركام الخفيف .

### 3 - 6 - 6 التعامل مع الخلطات الخرسانية ذات النسب الوزنية :

خلطة خرسانية تتكون من النسب الوزنية التالية .

أسمنت : رمل : زلط : ماء

1 : 2 : 4 : 0.5

— احسب الحصيلة ومعامل الأسمنت ووحدة الوزن واحسب الكميات اللازمة لصب سقف  
حجمه 100 م³ إذا علم أن الوزن النوعي للزلط والرمل 2.68 و 2.65 على الترتيب ووحدة  
الوزن لهما 1.6 ، 1.75 طن/م³ ونفرض أن الهواء المحبوس 2% . احسب الكميات اللازمة  
لتشغيل خلطة وزنيه سعتها 1.5 م³ للنسب الوزنية السابقة لا يستطيع أحد أن يحدد حجم  
الخرسانة الناتجة .

الحل : حيث أن الحصيلة (ح) تحسب للشيكاره الواحد فسوف نحل المسألة على شيكاه من  
الأسمنت واحده فتكون الأوزان بالطن كمايلي :

أسمنت : رمل : زلط : ماء  
0.05 : 0.10 : 0.20 : 0.025

— وهذه الكميات سوف تنتج حجم خرسانة طازجه (V) م³

$$\therefore \frac{0.05}{3.15} + \frac{0.025}{1} + \frac{0.10}{2.65} + \frac{0.20}{2.68} + 0.02V$$

$$0.153 = 0.98V$$

$$\therefore V = 156m^3$$

وبهذا تكون الحصيلة (ح) = 0.156 م<sup>3</sup>  
ومعامل الأسمنت (م) = 1/ح = 6.41 شيكارة (320.5 كجم) .  
— فتكون الكميات اللازمة للأسمنت = 0.3205 طن ، الماء (6.41×0.025) لإنتاج 1م<sup>3</sup> = 0.160 طن) ، الرمل (0.641طن) ، الزلط = (6.41 × 0.20 = 1.282 طن) .  
وحدة وزن الخرسانة = (0.32 + 0.641 + 0.16 + 1.282) = 2.403 طن/م<sup>3</sup>  
ومما هو جدير بالذكر أن وحدة وزن خرسانة الحجر الجيري تتراوح بين (2.33 ، 2.39 طن/م<sup>3</sup>) ولخرسانة الزلط بين (2.39 ، 2.43 طن/م<sup>3</sup>) وللدولوميت بين (2.41 ، 2.45 طن/م<sup>3</sup>) ويتوقف ذلك على نوع الركام ومحتوى الأسمنت وهبوط الخرسانة والدمك .  
— مواد السقف لإنتاج 100م<sup>3</sup> خرسانه كما يلي .  
وزن الأسمنت = 32 طن .  
حجم الرمل = 0.641×100 / وحدة الوزن (1.75) = 37 م<sup>3</sup> .  
حجم الرمل = 1.60 / 1.282 × 100 = 80 م<sup>3</sup> .  
حجم الماء = 16 م<sup>3</sup>

— الكميات اللازمة لتشغيل المحطة المركزيه :  
وزن الأسمنت 0.48 طن ، وزن الماء = 0.24 طن ، وزن الرمل 0.962 طن ، وزن الزلط = 1.923 طن

### 3 - 6 - 7 التعامل مع الخلطات الحجميه .

خلطة تتكون من النسب الحجمية التاليه :  
0.8 م<sup>3</sup> للزلط ، 0.36 م<sup>3</sup> رمل ، 0.340 طن أسمنت ، 190 لتر ماء ونسبة الهواء 1.5 %  
— احسب حصيلة الخلطة السابقه باستخدام خواص الركام السابق ، واحسب الكيات اللازمة لتشغيل خلطة حجمية 0.40 م<sup>3</sup> .

تحول الحجم الى أوزان باستخدام وحدات الوزن وبالتطبيق في معادلة الحجم المطلق .

$$\frac{0.34}{3.15} + \frac{0.19}{1} + \frac{1.75 \times 0.36}{2.65} + \frac{1.6 \times 0.8}{2.68} + 0.015V = V$$

$$1.013 = 0.985V$$

$$\therefore V = 1.03 \text{ m}^3$$

— وهذا يعنى أن استخدام 0.05/0.34 (6.8 شيكارة أسمنت) تنتج 1.03 م<sup>3</sup> خرسانه .  
ح = 6.8 / 1.03 = 0.151 م<sup>3</sup>  
م = 0.151 / 1 = 6.62

— حجوم المواد التى تنتج متر مكعب خرسانة = 1.03 / V  
حجم للزلط = 0.8 / 1.03 = 0.777 متر مكعب .  
حجم الرمل = 0.36 / 1.03 = 0.35 متر مكعب .  
وزن الأسمنت = 0.34 / 1.03 = 0.33 طن .  
وزن الماء = 185 لتر .

— بحساب الكميات اللازمة لتشغيل الخلاطة بضرب حجوم المواد لإنتاج متر مكعب x  
40 (سعة الخلاطة)

### 3-7 قياس وحدة وزن الخرسانة عملياً وأخذ عينات الخرسانة الطازجة :

#### 3-7-1 علم

يجب عند تصميم الخلطة تنفيذ خلطة خرسانه وقياس وحدة وزن الخرسانه للتحقق من وحدة وزن الخرسانة الناتجة من التصميم وقد يحدث فرق ينتج عن اختلاف الأوزان النوعية في التجربة عن القيم الحقيقية وقد يحدث نتيجة الدمك وغيرها . ويتم تحديد وحدة وزن الخرسانه لتصميم المقادير للخرسانه وسنتناول في مايلي كيفية أخذ عينات الخرسانة الطازجة وكيفية تحديد وحدة وزن الخرسانه .

#### 3-7-2 طريقة أخذ عينات الخرسانة الطازجة بالموقع

#### Method of sampling of fresh concrete on site

مواصفة قياسية مصرية 1658 / 1988

يتم أخذ عينة الخرسانة من الجزء الأوسط من الخلاطة الحجمية أو من العربيه الناقله للخرسانه بحيث يستبعد الجزء الأول والأخير وتؤخذ العينه بجاروف الغرفه الواحد منه حوالى 5 كجم وتوضع العينه فى وعاء قياسى من مادة لاتصدأ لا يقل سعته عن 9 لتر والعينه تكون بحجم يكتفى صب العينات للمطلوبه ويجب تغليب الخرسانة ثلاث مرات وفى كل مره يتم تجميع الخرسانة على هيئة مخروط ويتم عمل تقرير أخذ العينه به جميع بيانات الخرسانة

#### 3-7-3 اختبار تعيين كثافة ( وحدة الوزن ) الخرسانة الطازجة

#### Test Method to Determine the Unit weight of Fresh Concrete

يستخدم هذا الاختبار لتحديد وحدة الوزن الطازجه المدموكة لخرسانة المقاس الأكبر للركم لايزيد عن 40 مم وتحدد تلك الكثافه لمقارنتها بكثافة الخرسانة التصميميه للخلطة لنتحقق من تطابقهما أو يتم تعديل المكونات .

يتم أخذ عينة من الخرسانة الطازجه بالطريقه القياسيه المذكوره سابقاً .

يتم ملأ إناء معدنى قياسى يفضل أن يكون حجمه 0.01 م<sup>3</sup> .

يتم تحديد حجم الإناء بملاء بالماء فيكون الحجم = وزن الماء المضاف .

يملأ الإناء على 6 طبقات وتدمك كل طبقه دمك قياسى 60 دمكه أو يستخدم منضده مز لدمك الخرسانة .

وحدة وزن الخرسانة =  $\frac{\text{وزن الإناء وبه الخرسانة مدموكة} - \text{وزن الإناء فارغ}}{\text{حجم الإناء}}$



## الباب الرابع صناعة الخرسانة (Concrete Manufacture)

### 1-4 مقدمة:

تتكون الخرسانة من مادة لاحمة ومادة خاملة، وتتكون المادة اللاحمة من ناتج تفاعل الأسمنت والماء، وقد تكون مادة بوليمرية لتسمى الخرسانة في هذه الحالة Polymer Concrete، أما المادة الخاملة فيمثلها الركام، ويشغل الركام الكبير والصغير حوالى  $\frac{3}{4}$  حجم الخرسانة.

وتمر الخرسانة بمراحل رئيسية خلال عمرها؛ وهى مرحلة الخرسانة الطازجة ومرحلة الخرسانة الخضراء ومرحلة الخرسانة المتصلدة، ويجب أن تحقق الخرسانة فى هذه المراحل التشغيلية المطلوبة ومقاومة ضغط معينة تناسب نوع المنشأ، ويجب أن تكون الخرسانة أيضاً مقاومة للظروف المحيطة لها مما يعرف بالتحميلية، وسنذكر فيما يلى خطوات صناعة الخرسانة.

### 2-4 مرحلة الإعداد والتجهيز:

وتمر هذه المرحلة بمرحلتين أساسيتين؛ وهما تجهيز المواد واختبارها وتجهيز القرم والشدات الملائمة للمنشأ.

#### 1-2-4 اختيار المواد واختبارها:

##### أ - الأسمنت:

يحدّد نوع الأسمنت طبقاً لنوع المنشأ وطريقة التشييد والظروف المحيطة، ويجب حفظه فى الموقع بطريقة صحيحة بعيداً عن الماء أو الرطوبة، وإذا خزن لفترة أكثر من شهر يجب إجراء الاختبارات القياسية عليه مرة أخرى قبل الاستخدام للتأكد من صلاحيته للاستخدام مرة أخرى، ويجب ألا تزيد درجة حرارته عن 45 درجة مئوية إذا لم تتخذ احتياطات خاصة عند الصب، أو 75 درجة مئوية عند اتخاذ إجراءات خاصة لخفض درجة حرارة الخرسانة، ويجب ألا يستخدم فى أعمال الخرسانة المسلحة أى أسمنت بدأت تتكون فيه حبيبات متصلدة أو مضى على تشويبه أكثر من ستة شهور.

##### ب - الركام:

يحدّد نوع الركام المستخدم تبعاً لعوامل عديدة؛ أهمها مكان المحاجر وبعدها عن الموقع ونوع المنشأ، ويُختار الركام الكبير بحيث يكون المقاس الاعتبارى الأكبر  $\frac{1}{4}$  أو أقل بعد للمنشأ، ولا يزيد عن  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{4}$  المسافة الخالصة بين حديد التسليح، والرمال المستخدمة لابد أن تكون خشنة ومتدرجة، ويفضل عمل مظلات وخاصة فى المناطق الحارة لحفظ الركام من الأمطار وأشعة الشمس المباشرة والحرارة، ويجب أن يكون الركام خالى من المواد الضعيفة والضارة ويكون غير قابل للتفاعل مع قلويات الأسمنت.

## ج - الماء:

يجب أن يكون الماء نظيف وخالى من المواد الغريبة العالقة والمواد الكيميائية، ويجب ألا تزيد نسب الأملاح الكيميائية مثل الكبريتات والكلوريدات عن القيم المسموح بها فى ماء الخلط الواردة فى كود الخرسانة، والمنكورة فيما يلى:

- 2.00 جرام فى اللتر من الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S).
- 0.50 جرام فى اللتر من أملاح الكلوريدات على هيئة  $Cl^-$ .
- 0.30 جرام فى اللتر من أملاح الكبريتات على هيئة  $SO_3$ .
- 1.00 جرام فى اللتر من أملاح الكربونات والبيكربونات.
- 0.10 جرام فى اللتر من أملاح كبريتيد الصوديوم.
- 0.20 جرام فى اللتر من المواد العضوية.
- 2.00 جرام فى اللتر من المواد غير العضوية وهى اللطين والمواد العالقة.

## 2-2-4 إعداد القرم والشدات:

قد تكون القرم المستخدمة مصنوعة من الأخشاب الطرية أو الصلبة أو أخشاب الأبلكاج أو الشدات المعدنية، وقد تكون شدات على هيئة بواكى صغيرة أو كبيرة مثل الشدات النفقية، ويجب أن يتوافر فيها ما يلى:

- أ- أن تكون قوية لتحمل ضغوط الخرسانة والأحمال الواقعة عليها.
  - ب- يجب أن تكون محكمة حتى لا تسرب المونة.
- ويفضل رش الشدات الخشبية بالماء قبل الصب حتى لا تمتص الشدات مياه الخرسانة ولغلق أية فواصل بين أجزاء الشدة، ويجب عمل تحديب للشدات فى حالة المنشآت ذات البحور الطويلة عكس اتجاه الترخيم، وفى حالة الكمرات فيكون التحديب  $1/400$  من البحر إذا زاد البحر عن 8 متر و  $1/150$  من البحر فى حالة الكوابيل الأكبر من 2 متر.

## 3-2-4 تجهيز الكميات والعبوات:

فى حالة الخلطات الحجمية تعمل صناديق للركام بحجم يتوقف على سعة الخلطة، ويضاف الماء بإناء معايير، أما الأسمنت فيعائى بالشيكارة، أما فى حالة الخلطات الوزنية فيتم وزن المكونات طبقاً لسعة الخلطة.

## 3-4 مرحلة الخرسانة الطازجة:

وتتقسم خطوات صناعة الخرسانة فى هذه المرحلة إلى مراحل الخلط والنقل والصب ودمك الخرسانة.

## 1-3-4 خلط الخرسانة:

قد يكون خلط الخرسانة يدوى أو ميكانيكى، ولايفضل الخلط اليدوى، ولكن إذا لزم الأمر من استخدامه فلا بد من اتخاذ الاحتياطات اللازمة، حيث يتم خلط المواد مرتين على الناشف قبل إضافة المياه بالمحرث، ثم تخلط مرتين على الأقل بعد إضافة الماء. أما الخلط الميكانيكى فيتم فى خلطات حجمية أو خلطات مركزية. ويتم الخلط لمدة تتراوح بين 2-5 دقائق، وتفضل الخلطات الوزنية عن الحجمية حيث يتحسن ضبط الجودة باستخدامها.

## • الخلاطات الحجمية *Volumetric Mixer*:

ويوجد منها عدة أنواع:

1. خلاطة تدور حول محور رأسي: وتستخدم غالباً في المعامل.
  2. خلاطة نحلة: وهي خلاطة ذات سعة صغيرة تدور حول محور وهذه لا تستخدم في الأعمال الهامة.
  3. خلاطة حجمية ذات سعة كبيرة: تتميز هذه الخلاطة بحلة ذات سعة كبيرة ويقوم المقاول بتجهيز منصة تحميل أمامها.
  4. خلاطة ذات قادوس تحميل.
- ويجب على المهندس تحويل تصميم الخلطة إلى محتويات حجمية ومثالا كما يلي:

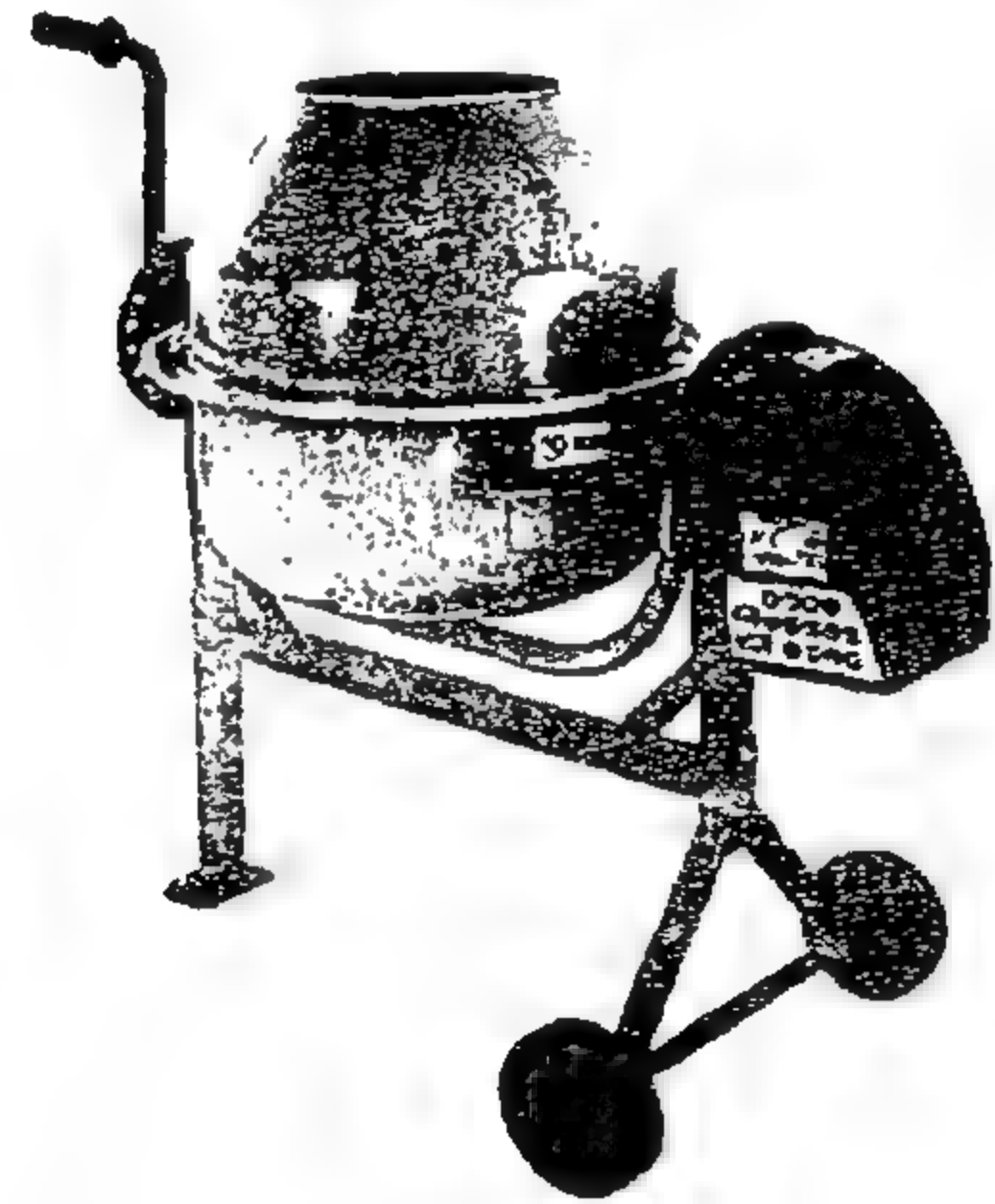
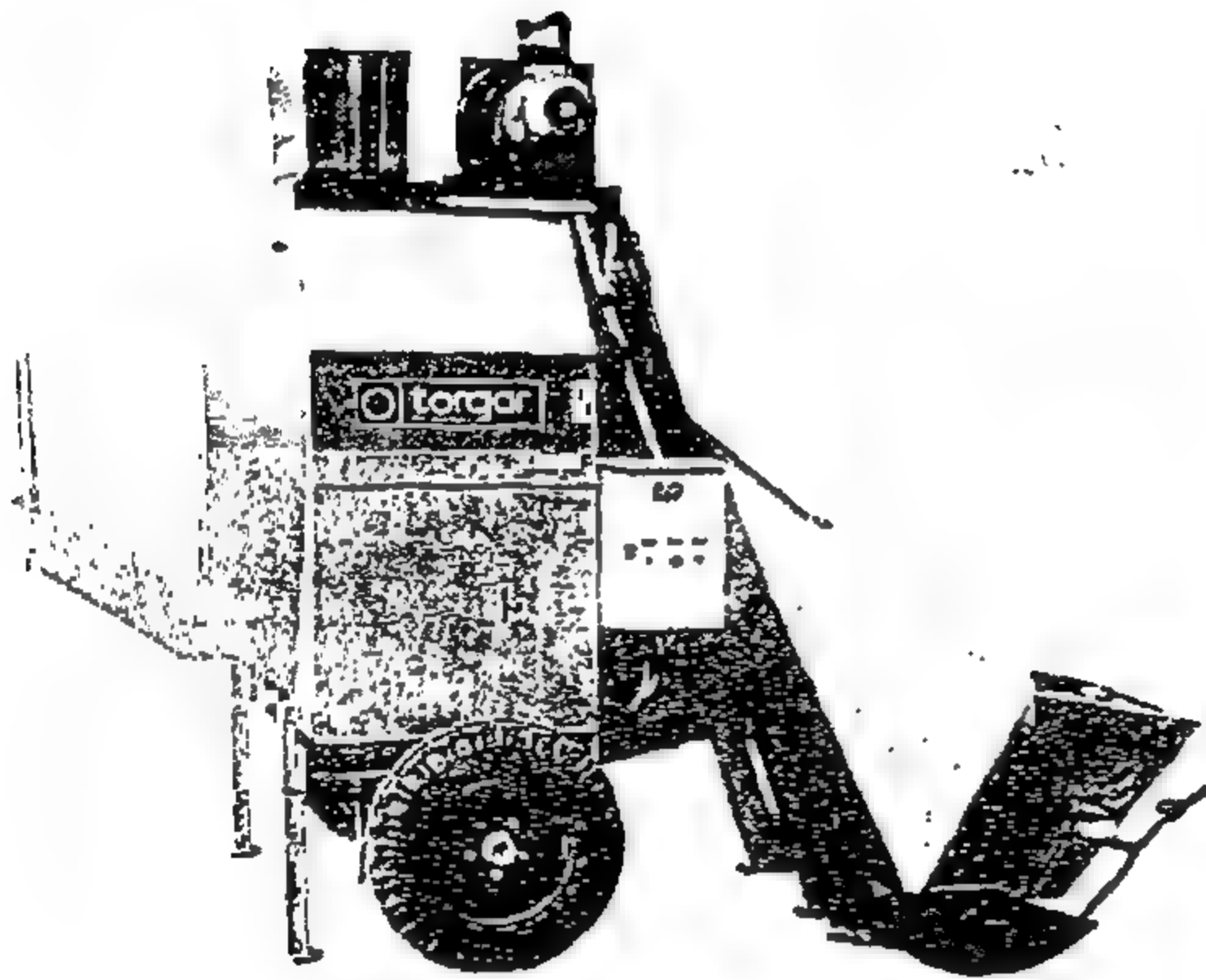
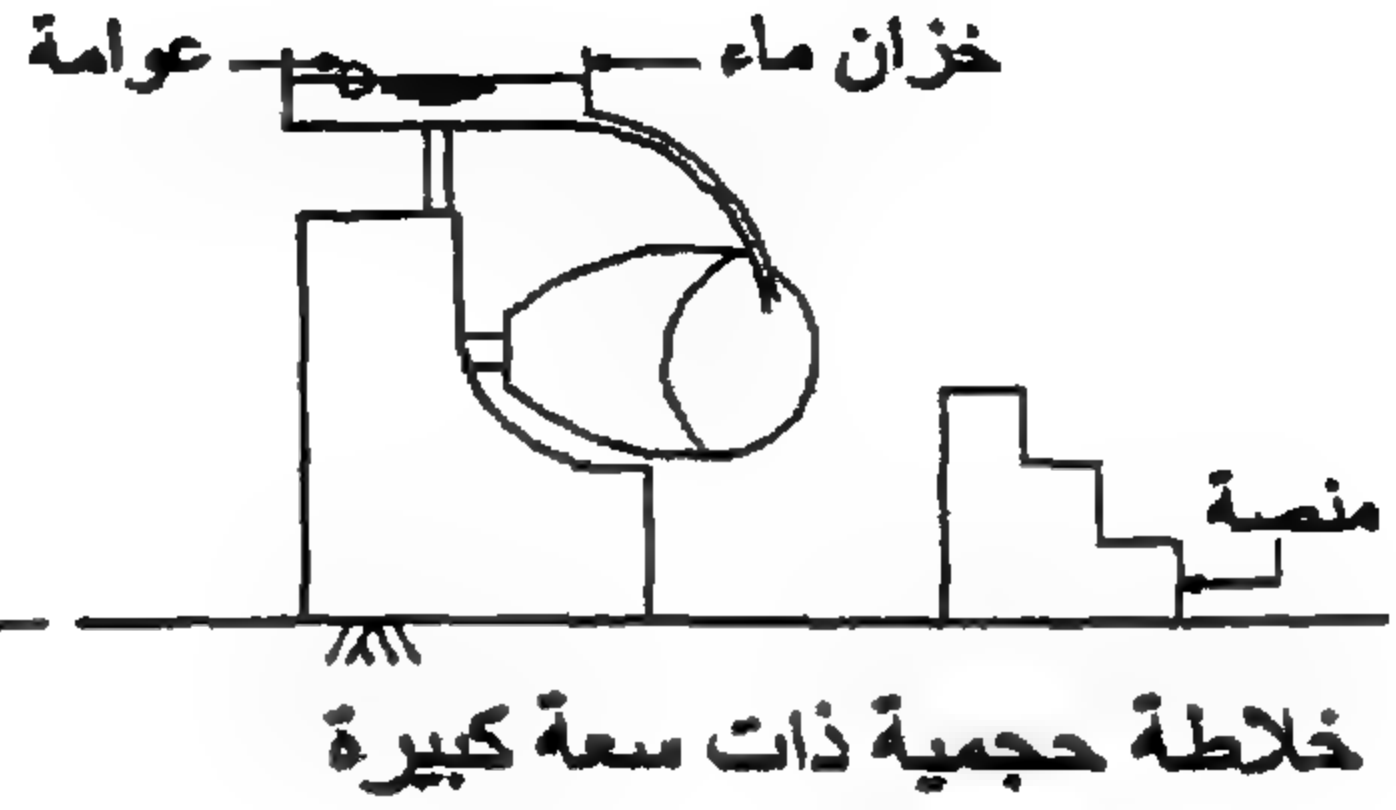
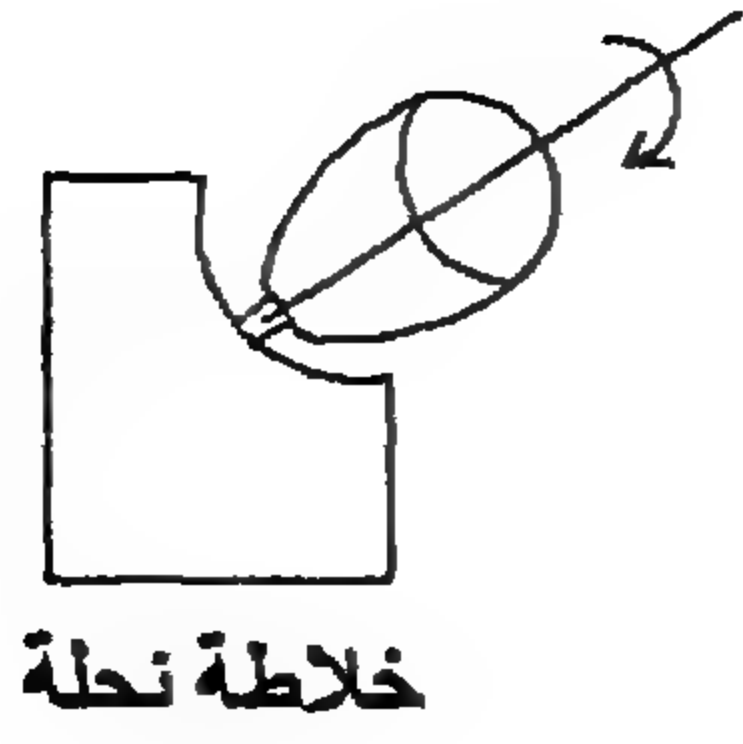
أسمنت	رمل	زلط	ماء
7 شكاير	0.4 م3	0.82 م3	180 لتر

شكل رقم (1-4) يحتوى على رسومات توضح الأشكال المختلفة لبعض الخلاطات الحجمية.

## • الخلاطات الوزنية *(Bach plant)*:

وتتكون من الأجزاء التالية :

1. الخلاطة و هي المكون الرئيسي
2. برج التحكم: وفيه مجموعة من الموازين، ومزود بوحدة تحكم إلكترونية فى بعض المحطات، ويتصل البرج بالخلاطة بحيث يتم وزن أية كميات من المواد تدخل للخلطة.
3. صوامع تخزين الأسمنت.
4. خزان ماء.
5. خزان إضافات.
6. أماكن تخزين الرمل وأماكن تخزين الركام الكبير بمقاساته المختلفة.
7. عربات دوارة لنقل الخرسانة للموقع، أو عربات صغيرة غير دوارة.
8. مغذى للركام: وهو عبارة عن حاوية ذات غرف متعددة يوضع فيها الركام باستخدام محمل (Loader) أو سير.
9. سير لنقل الركام للخلطة.



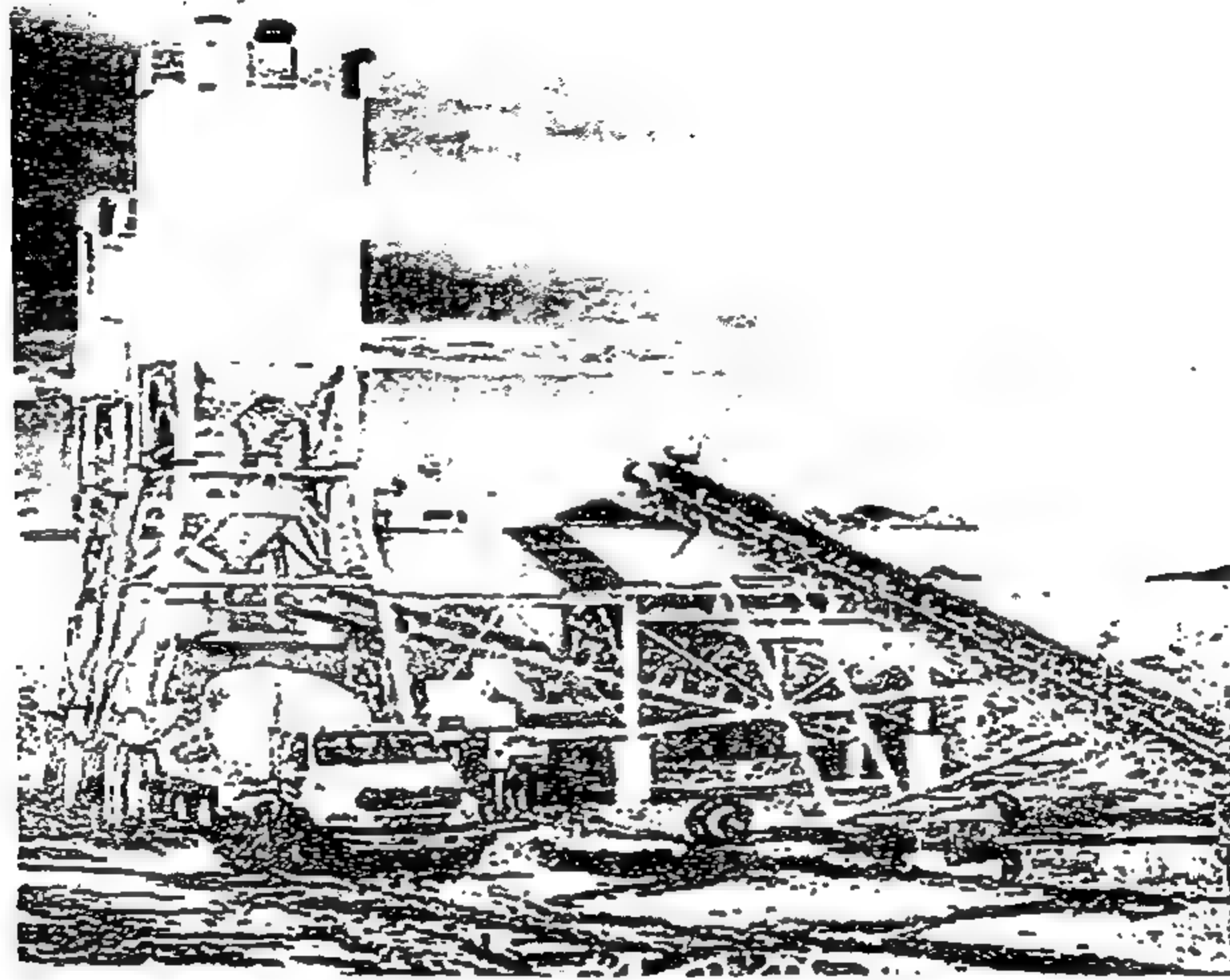
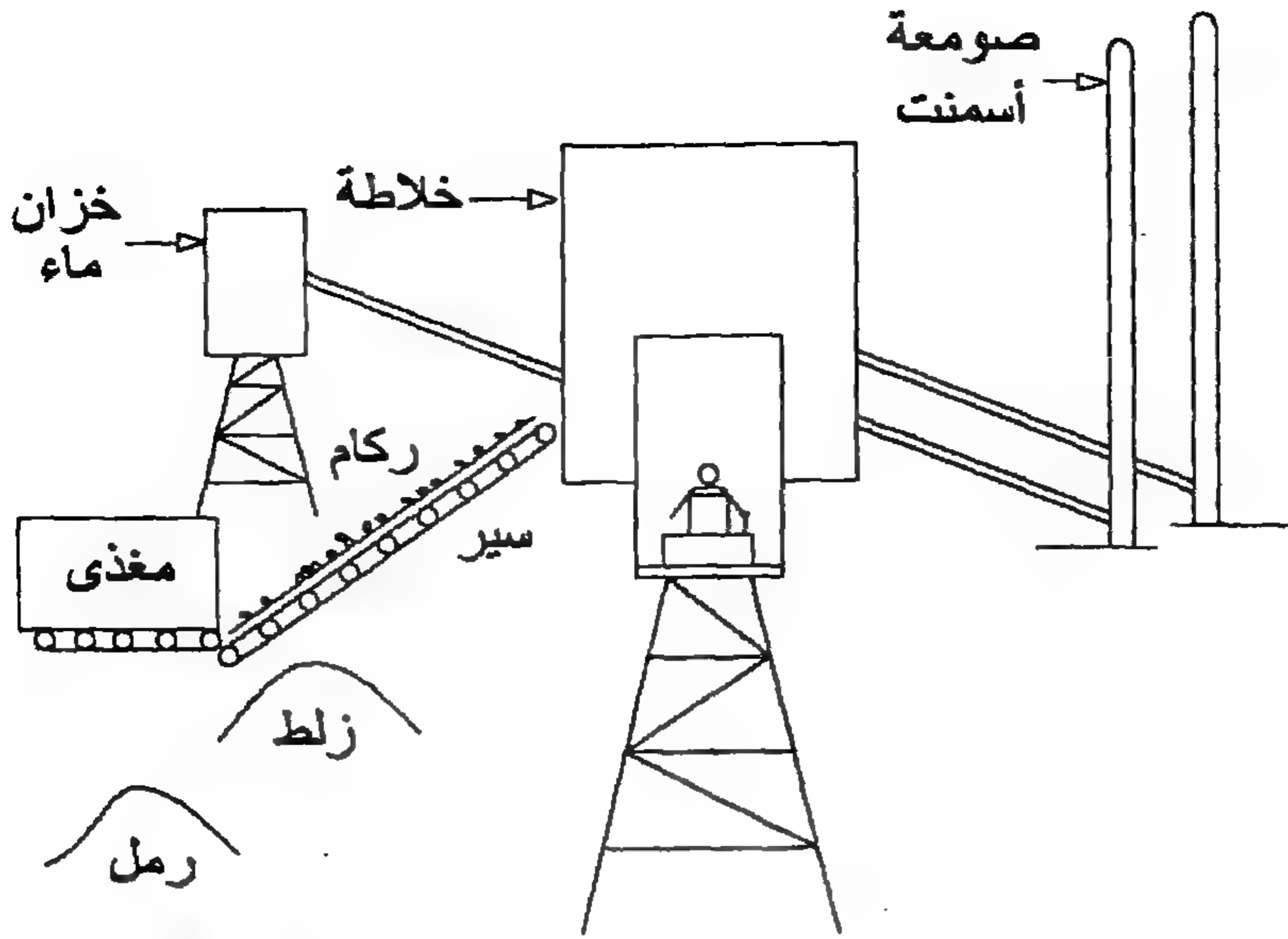
شكل (1-4) أشكال وصور الخلاطات الحجمية

وتتميز تلك الخلاطة بـ:

1. إنتاجية عالية تتراوح بين 30 إلى 150 م<sup>3</sup>/ساعة.
2. جودة عالية.
3. الخلاطة مجهزة بمقاييس لقياس رطوبة الرمل والركام الكبير، وتعديل الأوزان.

شكل رقم (2-4) يوضح رسومات للخلاطة الوزنية.





شكل (2-4) شكل و صورة للخلطة الوزنية

#### 2-3-4 نقل الخرسانة:

وتتم عملية النقل بطرق عديدة منها:

- 1- بالطرق اليدوية: حيث يتم الحمل المباشر للخرسانة.
- 2- بواسطة عربات صغيرة تدفع يدوياً: وهي سهلة المناورة.
- 3- باستخدام Dumper:

وهي عربات تتحرك داخل الموقع يتحكم فيها سائق، وتعمل بالوقود، وتتميز بخفة الحركة والمناورة ونقل الخرسانة من المضخة حتى مكان الصب، ويعيبها في حالة عدم إستواء الطرق أن الخرسانة قد تتعرض للتزيف نتيجة الهز الزائد.

#### 4- العربات الخلطة:

وهي عربة مزودة بحلة دوارة مزودة بأنر ع ميكانيكية داخل العربة، تعمل على خلط الخرسانة عند نقلها من الخلطة المركزية الى داخل المدن أو خارج المدن إلى الموقع، وقد يطول مسار الرحلة للوصول للموقع، لذلك فغالباً تضاف إضافة كيميائية مؤجلة للشك، ويجب ضبط سرعة دوران الحلة لتكون قياسية ، ويجب ألا تزيد فترة الرحلة عن 1.5 ساعة، بحيث يتم التأكد من الهبوط المطلوب ووحدة وزن الخرسانة عند الوصول للموقع ، وفي حالة زيادة الزمن عن ذلك، فيجب عمل دراسة مسبقة بحيث لا تتأثر خواص الخرسانة. ومن مميزات هذه الطريقة صب الخرسانة في الأماكن المزدحمة حيث لا يتوفر مكان لخلط الخرسانة ويعيب هذه الطريقة صعوبة التحكم في هبوط الخرسانة في حالة طول الرحلة.

#### 5- الأوناش Cranes:

ويستخدم ونش واحد أو عدة أوناش في الموقع الواحد لنقل الشدات وصلب التسليح والخرسانة وكل شيء داخل الموقع، وتتميز بقدرتها على الوصول لأماكن أفقية ورأسية دون إعاقة العمل، وفي حالة تعدد الأوناش، فيجب عمل تخطيط مسبق لكيفية عملها معاً بالموقع.

#### 6- المصاعد Lifts:

وتستخدم لنقل الخرسانة رأسياً فقط، وهي غير مكلفة، ولكن أعلى السقف تحتاج لنقل الخرسانة أفقياً.

#### 7- العربات الرجاجة Jetting Lorries:

حيث تنقل الخرسانة وتعرضها للرج الخفيف للحفاظ على قوامها.

#### 8- قذف الخرسانة Shot concrete:

ويتم قذف الخرسانة تحت ضغط، ويستخدم فيها ركام لا يزيد مقاسه الاعتباري الأكبر عن 10مم، وتستخدم في أعمال الترميم وصب الأجزاء ذات الأسماك الصغيرة، وتحتاج لعمالة مدربة.

#### 9- استخدام المواسير (المزrab):

تستخدم المواسير لنقل الخرسانة إلى الأساسات أسفل سطح الأرض، ويجب الحفاظ عليها من تعرضها للانفصال.

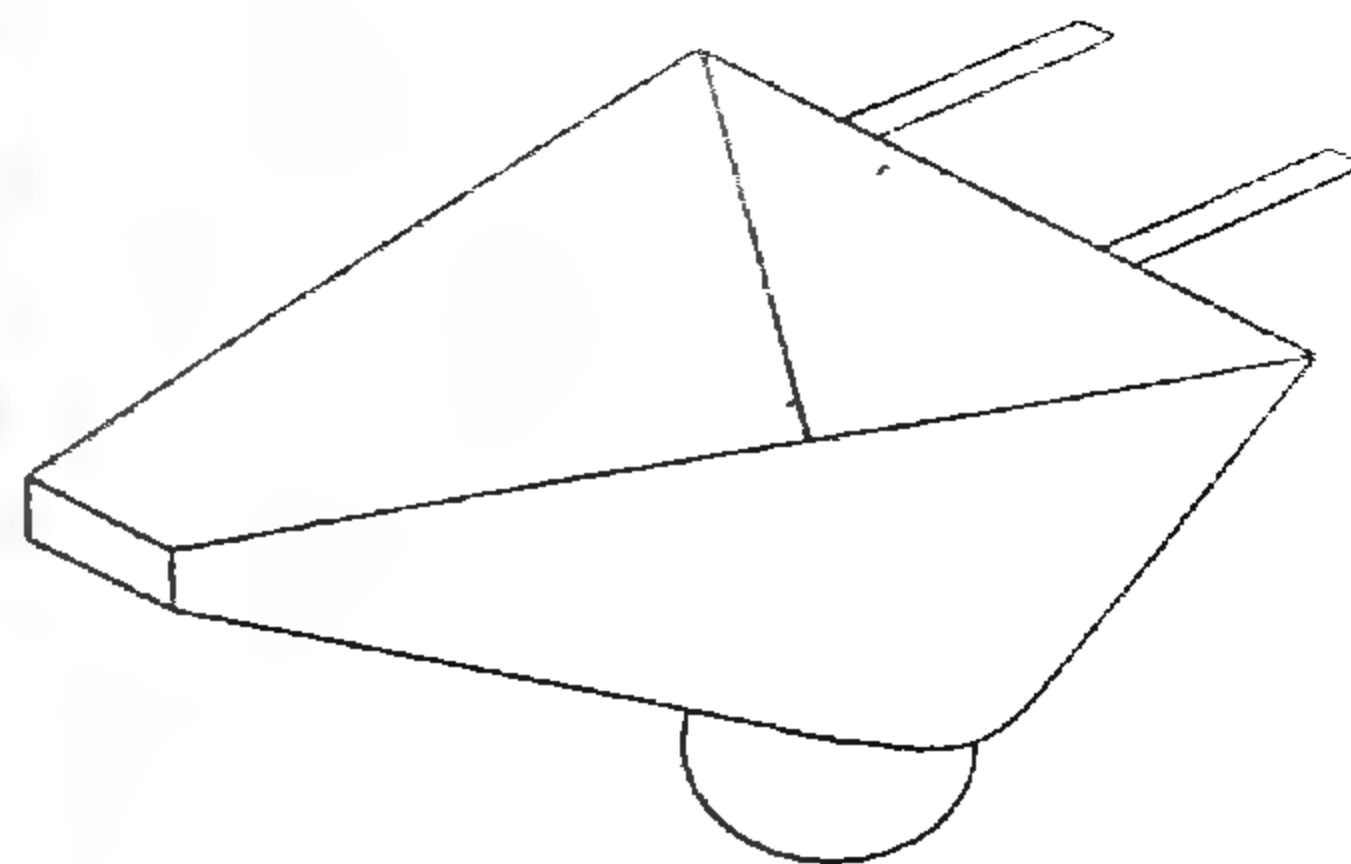
#### 10- السيور الناقلة:

وهي إما أن تكون مفردة أو متعددة، وقد تتعرض فيها الخرسانة للانفصال وفقد الهبوط.

شكل رقم (3-4) يحتوى على تلخيص لأساليب نقل الخرسانة، وأثناء نقل الخرسانة من الخلطة ووضعها في العربات أو عند الصب في القوالب، يجب تلاشي حدوث انفصال أو إدماء الخرسانة. ويوضح الشكل (4-4) الأخطاء المحتملة أثناء عملية النقل والصب في العبوات والقوالب.



دمبر



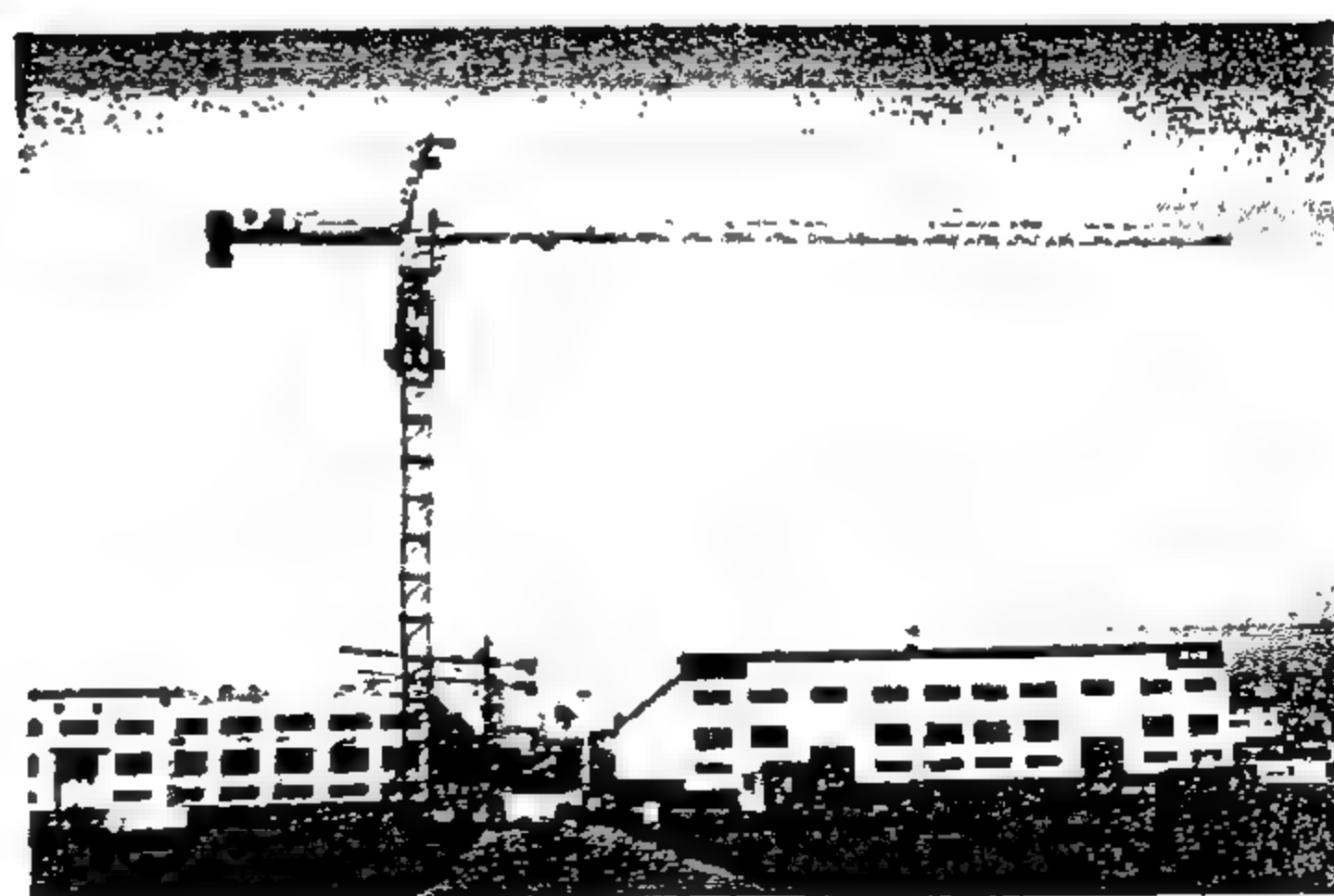
العربة اليدوية



عربة دوارة



دلو

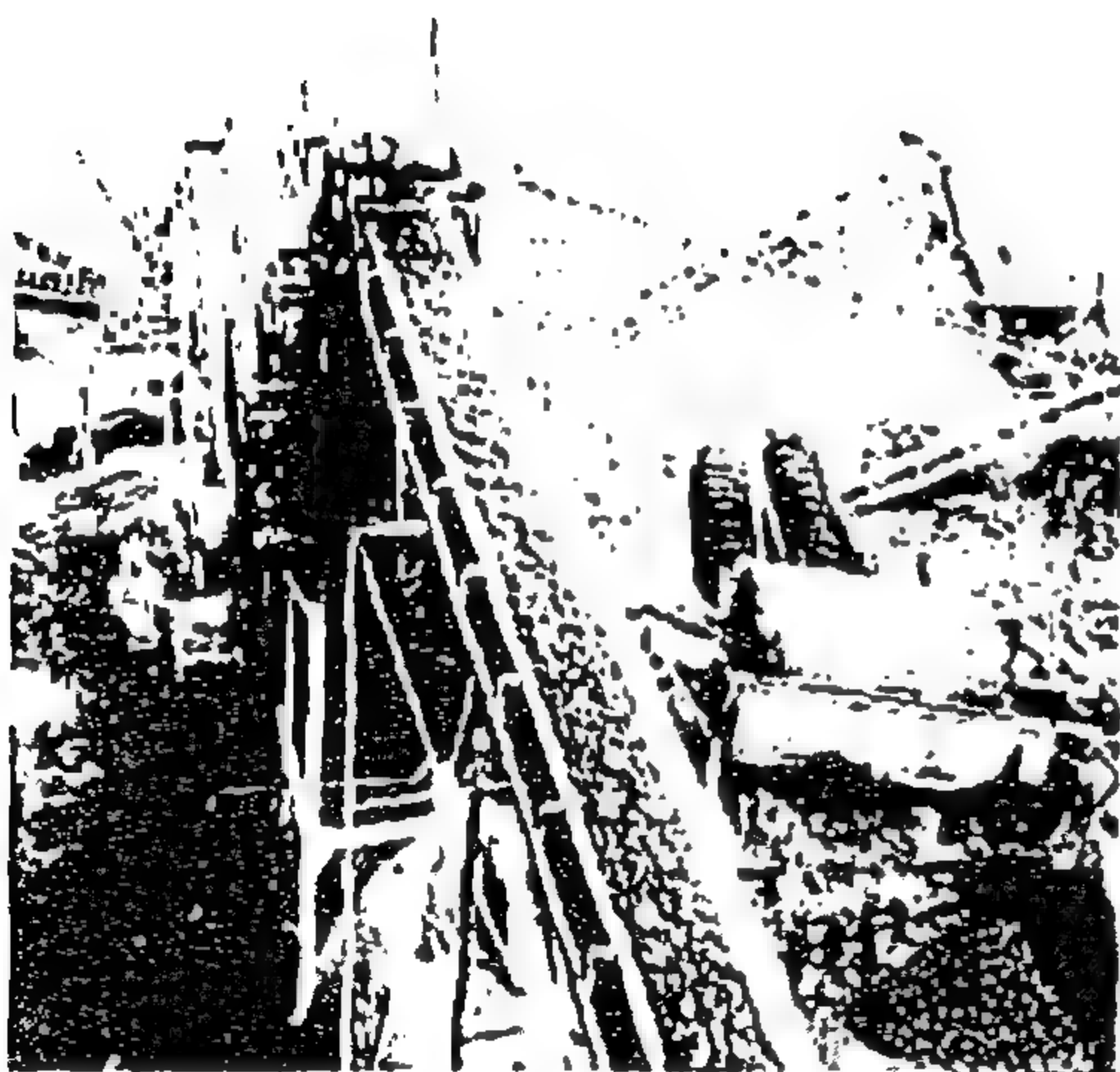
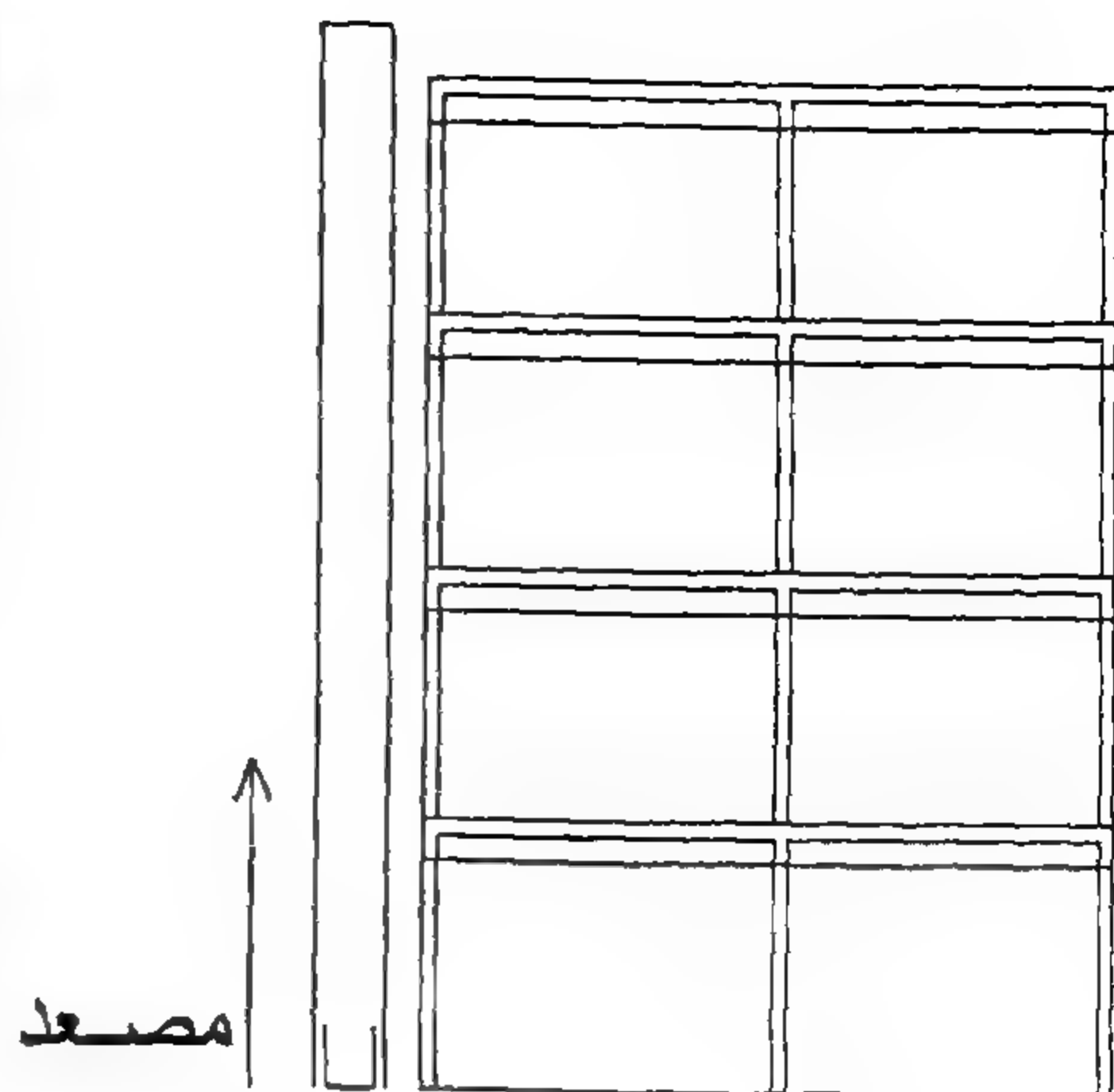


صورة للونش

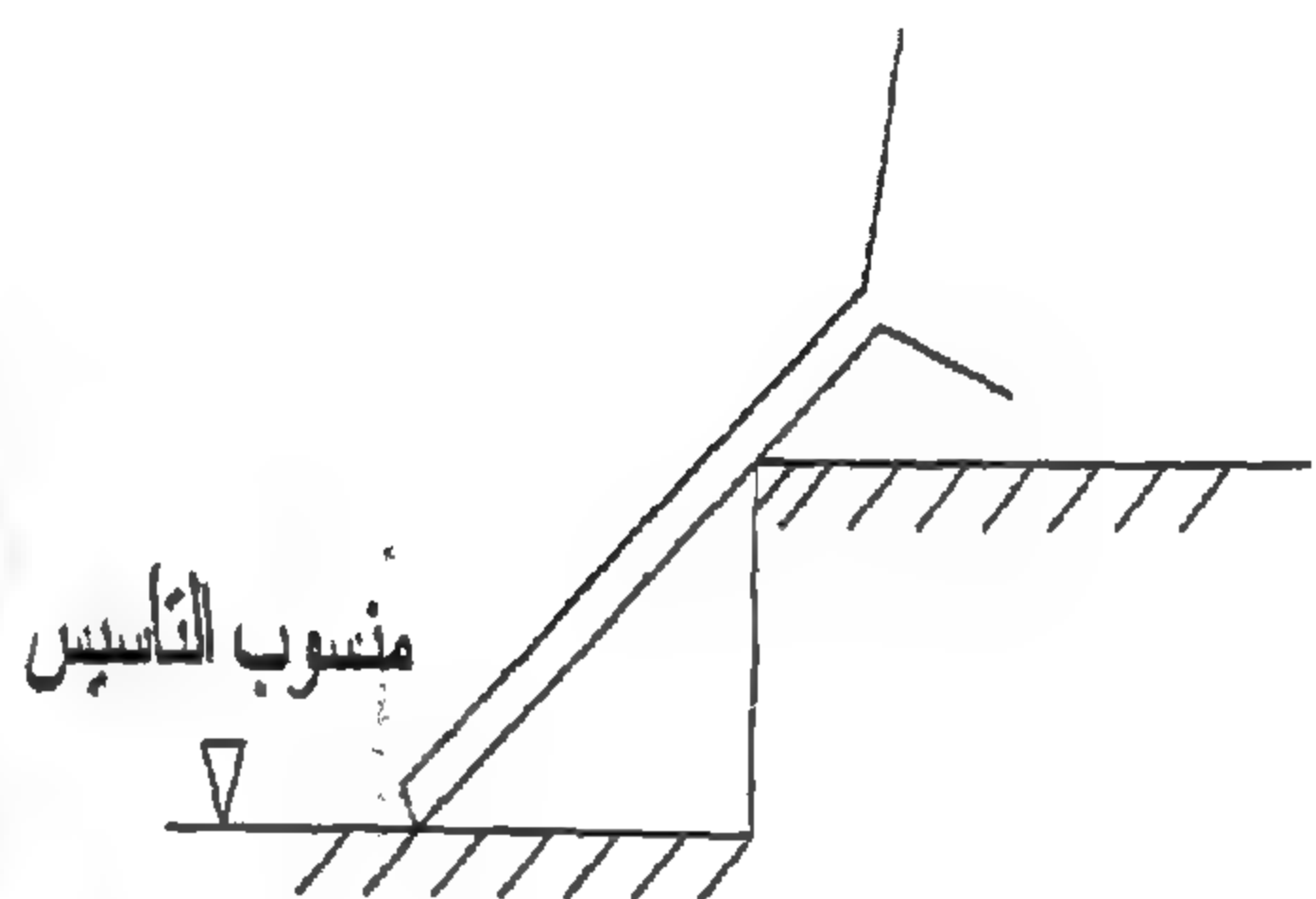
شكل (3-4) أساليب نقل الخرسانة



قذف الخرسانة



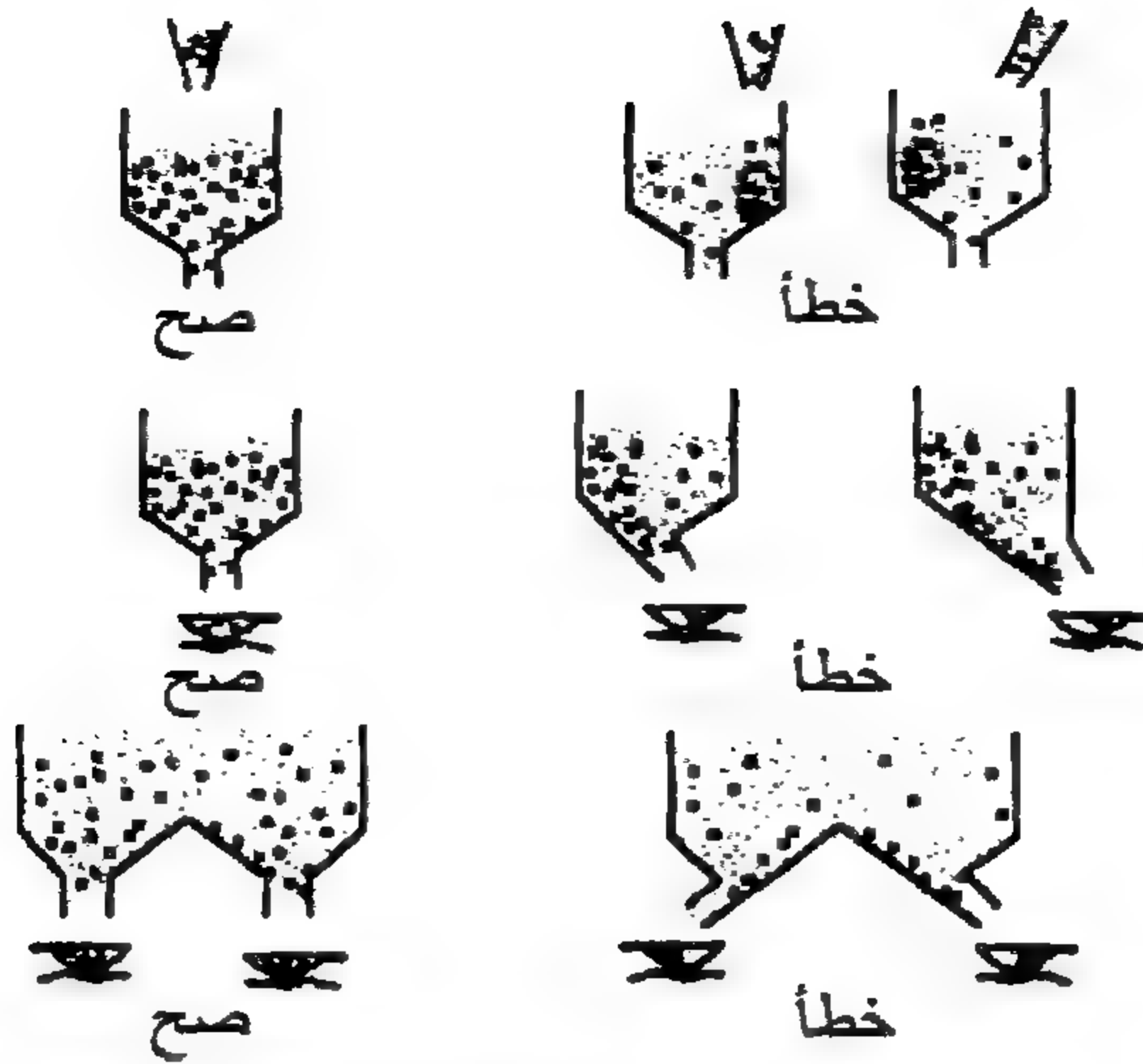
السيور



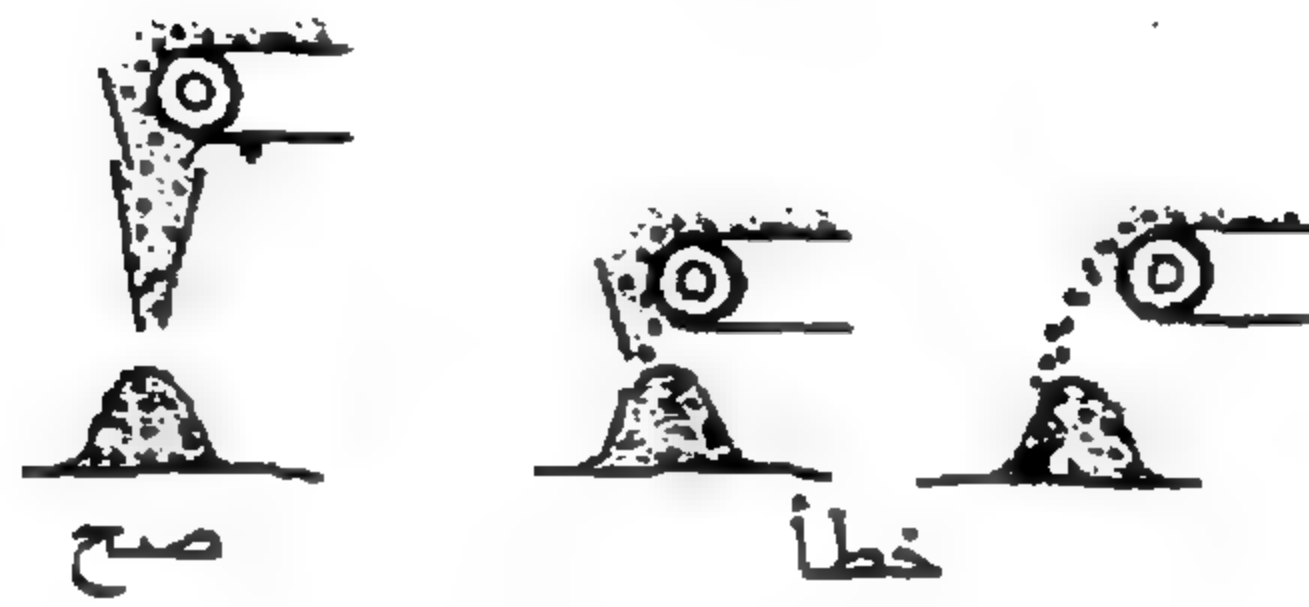
النقل بالمواسير

شكل (3-4) (مستمر) أساليب نقل الخرسانة





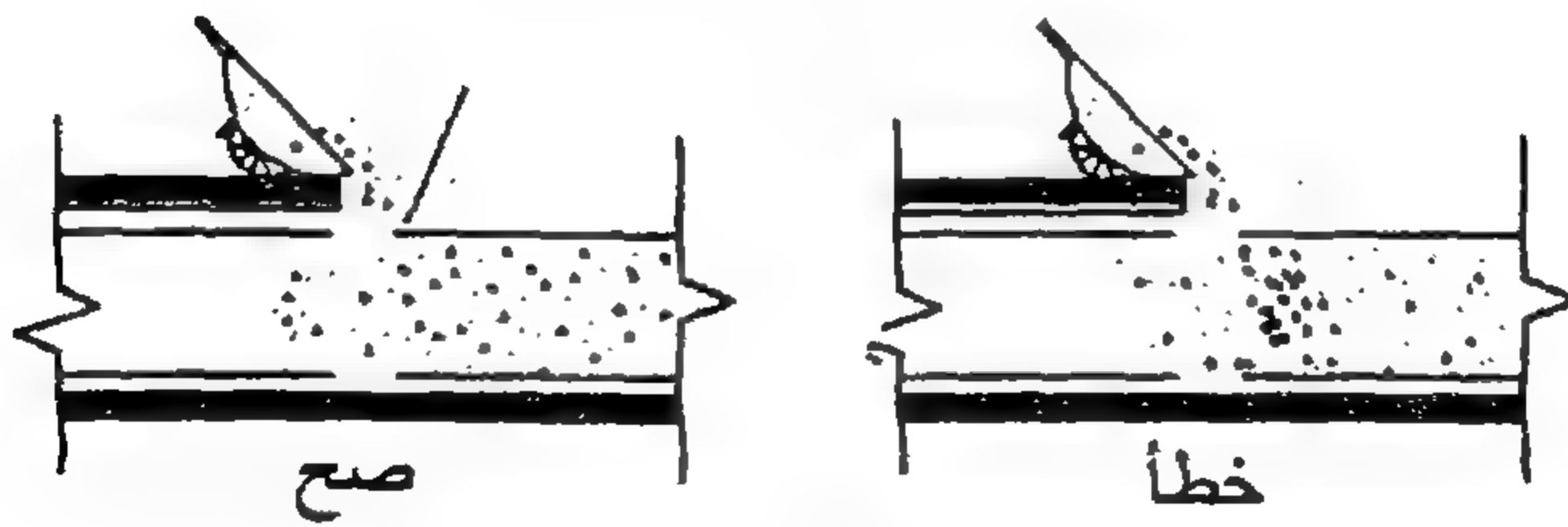
الخطأ في النقل بالقوادر



الخطأ عند نهاية السيور



الخطأ عند نهاية المواسير



الخطأ عند النقل بالعربات اليدوية



الخطأ عند استخدام المواسير في الأسطح المائلة

شكل (4-4) الأخطاء المحتملة أثناء نقل الخرسانة وتصحيحها (مستمر)

### 3-3-4 صب الخرسانة:

#### 1-3-3-4 صب المنشآت التقليدية:

يجب قبل صب الخرسانة التأكد من تفاصيل التسليح والأبعاد واستلام الشدات، ويوصى بما يلي أثناء الصب:

1. تصب الخرسانة للبلاطات واللبشه والكمرات على طبقات تدمك كل واحدة دمكاً جيداً، ويفضل أن يتراوح سمك الطبقة بين 30 سم في حالة الخرسانة المسلحة و 50 سم في حالة الخرسانة العادية.
2. في حالة صب الخرسانة في أعمدة أو حوائط رأسية، فيجب الصب على عدة مستويات، حتى لا يحدث انفصال أو نزيف، بحيث يكون ارتفاع الصب الحر يتراوح بين 2 — 2.5 متر وفي حالة زيادة الارتفاع يمكن عمل فتحة صب جانبيه في الشده وبعد صب المرحله الأولى يتم غلق الفتحة ثم يتم صب المرحله الثانيه .
3. في حالة صب خرسانة حديثة على خرسانة قديمة، فيجب تشبع الخرسانة القديمة بالماء قبل الصب بـ 24 ساعة، على أن يكون ذلك السطح خشن أو يخشن ليبرز الزلط، ثم ينظف السطح، ثم يرش بمونة أسمنتية غنية، ويمكن دهان سطح الخرسانة القديمة بدون رشها بالماء، بمادة إيبوكسية، أو مادة بولمرية تزيد من ترابط الخرسانة القديمة بالخرسانة الحديثة، وفي تلك الحالة يجب أن يكون سطح الخرسانة جاف. في حالة المنشآت الهيدروليكية، يفضل أن تتم عملية التخشين بالسفع بتيار رمل تحت ضغط عالي.
4. شكل (4-5) يوضح كيفية الصب الصحيح.

#### 2-3-3-4 صب الخرسانة تحت الماء وفي الأساسات العميقة:

هناك عدة طرق لصب الخرسانة تحت الماء وهي:

أ. طريقة ترميو Tremie.

ب. الدلو Bucket.

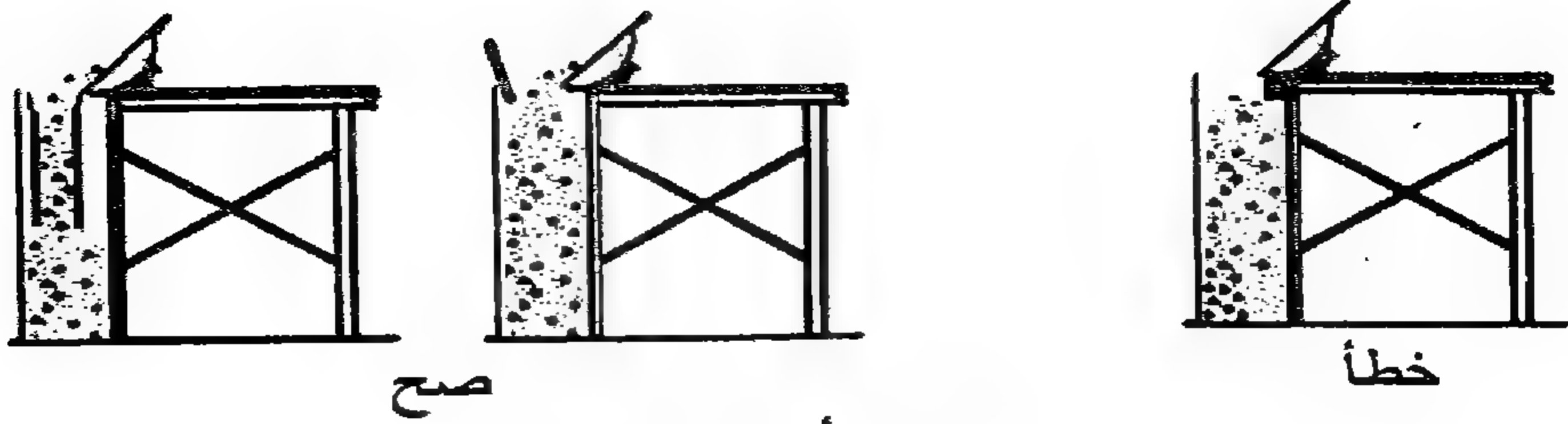
ج. حقن الركام.

د. الشكاثر الخرسانية.

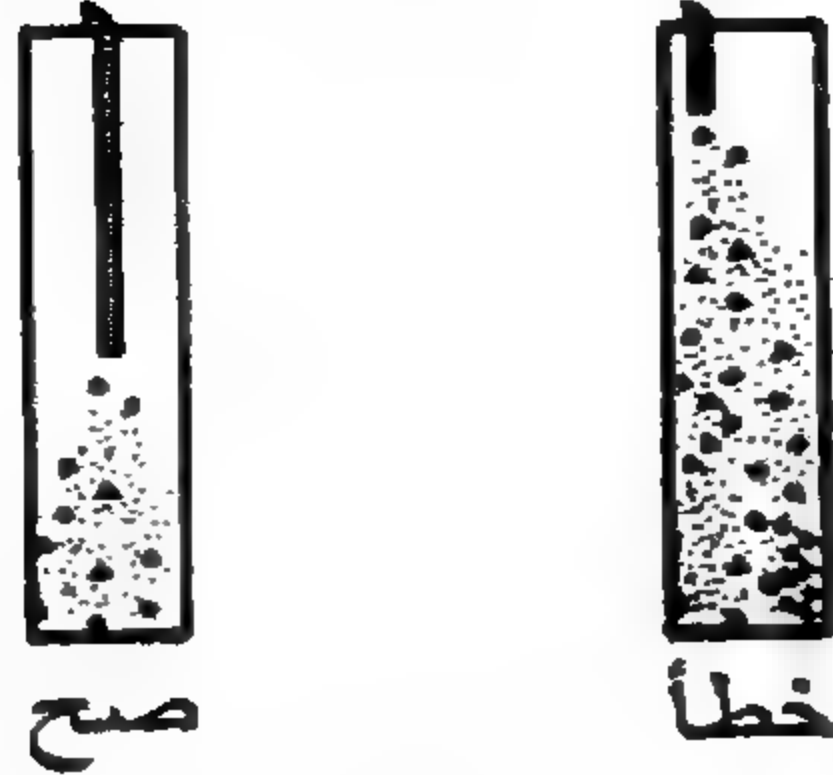
هـ. ضخ الخرسانة.

#### أ - طريقة الترميو:

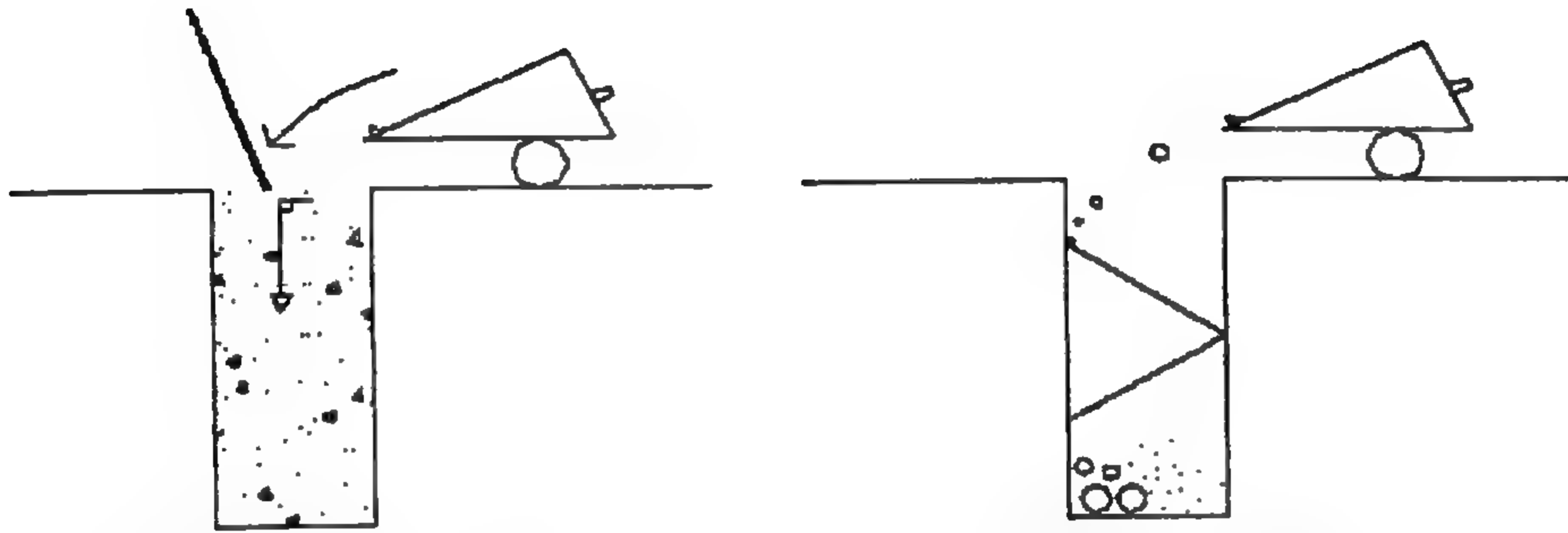
وتتكون من ماسورة بقطر 25 سم أو 10 أضعاف المقاس الإعتباري الأكبر للركام، وماسورة الترميو أعلاها قادوس، وتغلق من أسفل بلوح معدني، يتحكم في فتحه وغلقه كابل من داخله، أو يتم غلقه بقطعة من الخشب في أسفلها، وعند الوصول إلى العمق المطلوب تدفع الخرسانة السدادة لأسفل. في حالة ما تكون قوة دفع الماء الجوفي أكبر كثيراً من وزن الماسورة، يتم إنزال الماسورة مفتوحة قبل ضخ الخرسانة بها، ويوضع غلاف من البولي إيثيلين أعلى الماسورة ليكون أسفل الخرسانة ليمنع إختلاط الخرسانة بالماء. وفي حالة ما تكون سرعة الماء أكبر من 30 سم/دقيقة، يجب عمل سدود لتخفيض السرعة (شكل 4-6).



صب الأعمدة بالعربات



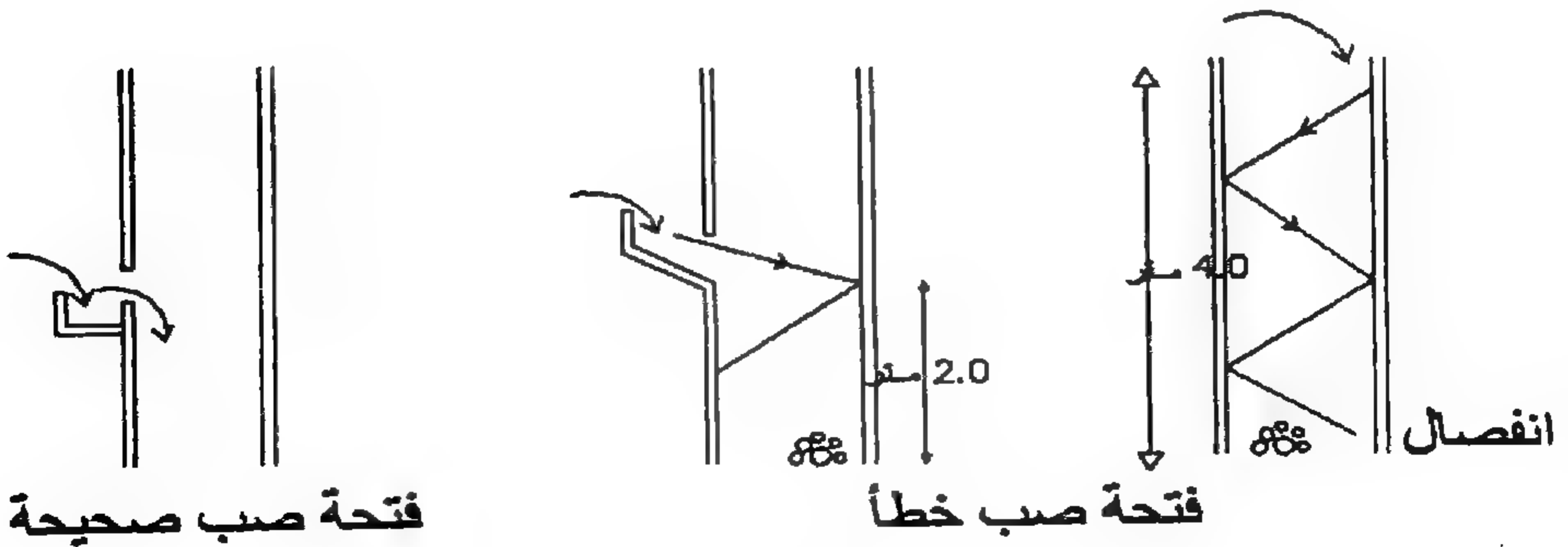
صب الأعمدة بالمضخة



خرسانة متجانسة

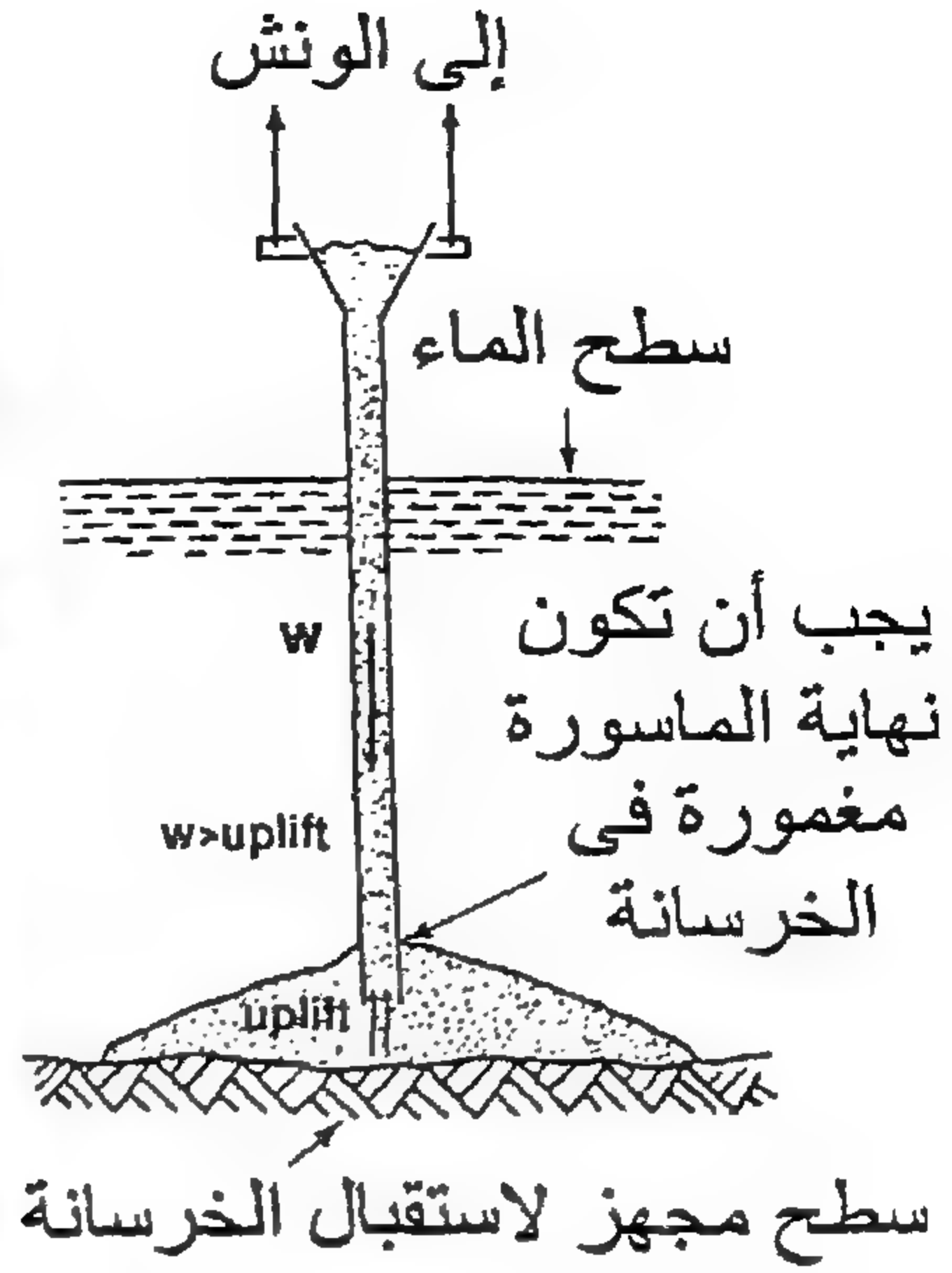
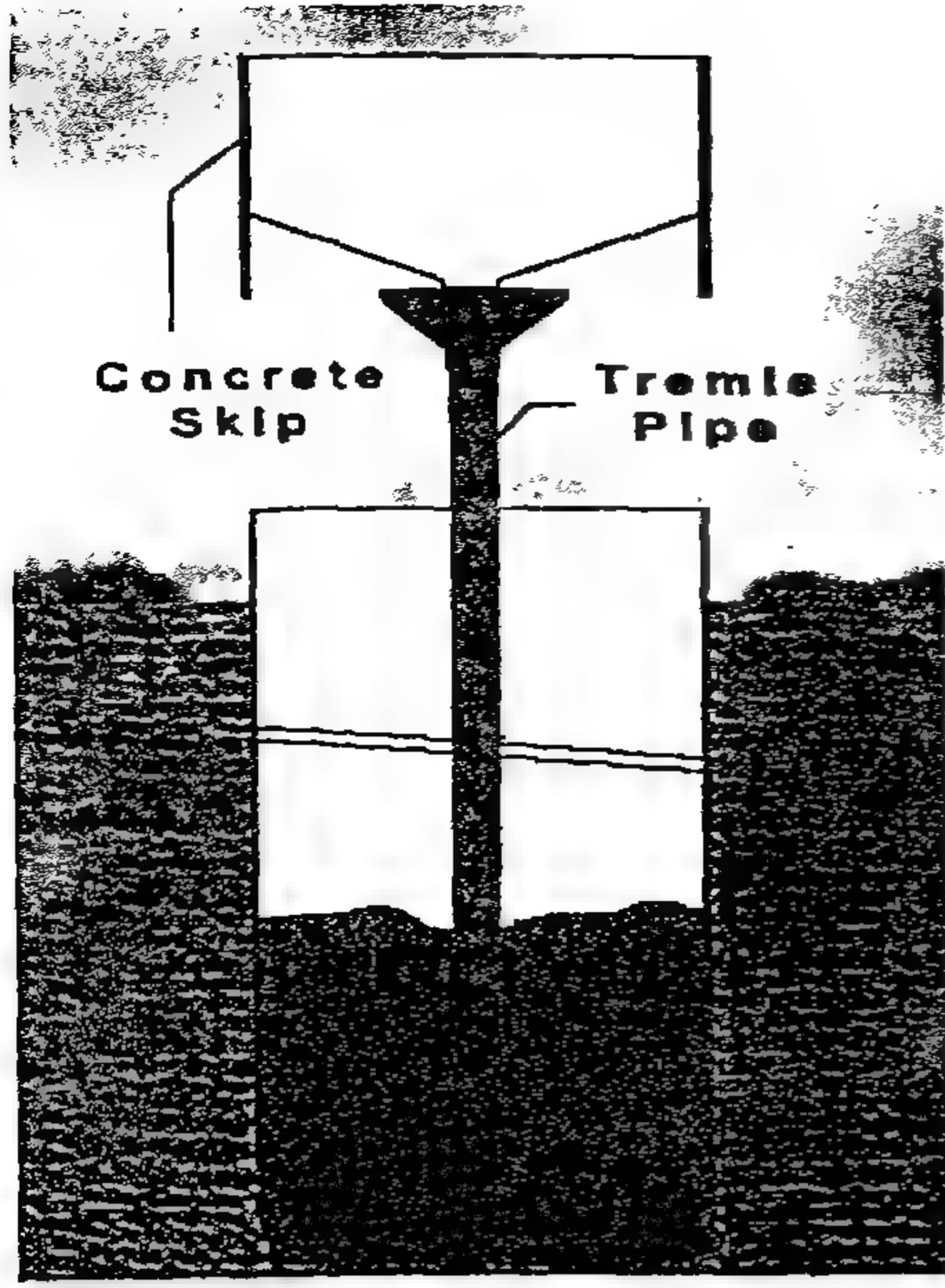
حدوث انفصال

كيفية صب الكمرات



كيفية صب الأعمدة

شكل (4-5) كيفية الصب الصحيح



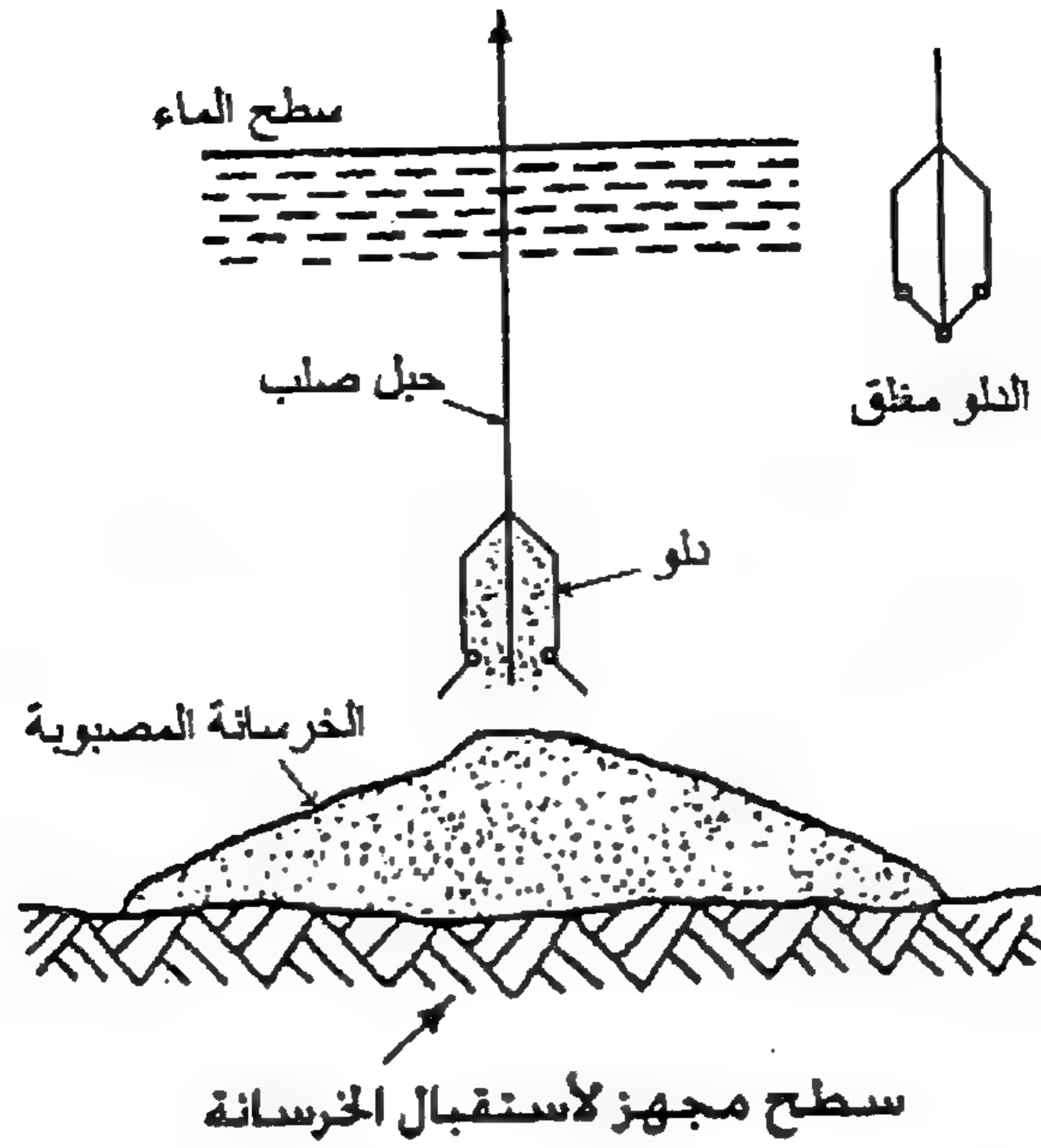
شكل (4-6) استخدام الترميو لصب الخرسانة

يتم صب الخرسانة داخل الترميو، على أن يكون وزن الخرسانة داخلها دائماً أكبر من قوة دفع الماء. ويراعى عند نقل ماسورة الترميو أن لا تُنقل أفقياً، ولكن تسحب رأسياً، ثم تنزل في المكان المناسب أثناء الصب، ويجب أن تكون الخرسانة غنية؛ لا يقل محتوى الأسمنت عن 400 كجم/م<sup>3</sup>، ولا يقل محتوى الرمل عن 50% من محتوى الركام حتى تقل حدوث الانفصال، ويُنصح باستخدام إضافات عالية التلدين، وفي الأعماق الكبيرة توضع مواد ناعمة (إضافات معدنية) لمنع غسل الأسمنت (Washing of cement)، وينطبق ذلك أيضاً في حالة ما تكون هناك أمواج أو سرعة بالماء.

#### ب - طريقة الدلو (Bucket):

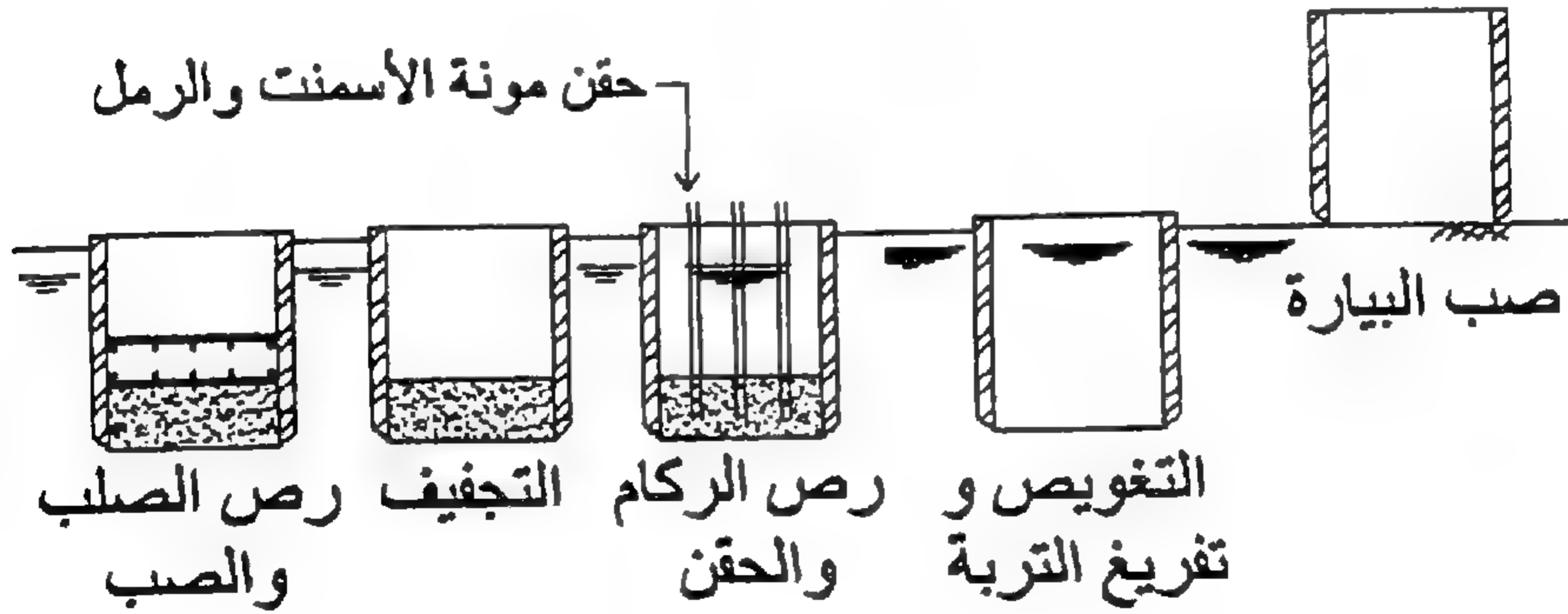
وهو عبارة عن دلو مفتوح من أعلى ذي بوابة من أسفل، حيث يتم ملء الدلو بالخرسانة وتغطيته، ثم إنزاله إلى المكان المطلوب، ثم تفتح البوابة السفلية، فتصب الخرسانة (شكل 4-7)، ويُفضل ألا يقل الهبوط عن 10 سم، ولا يقل محتوى الأسمنت عن 400 كجم/م<sup>3</sup>، ويزداد محتوى الرمل، ويُفضل دائماً أن يتم الصب بالدلو داخل ماسورة.





شكل (4-7) طريقة الدلو

ج - طريقة حقن الركام الكبير (*Injection of Placed Aggregate*): حيث يتم رص الركام الكبير، ثم تضخ المونة بواسطة مواسير خاصة أو مضخات، ويتم استخدامها في ترميم الأعضاء التي يصعب الوصول إليها، وكذلك صب وتنفيذ بيارات الصرف الصحي بالخطوات الموضحة بشكل رقم (4-8).



شكل (4-8) استخدام حقن الركام في تنفيذ بيارات الصرف الصحي

د - طريقة الشكاير الخرسانية (*Concrete Sacs*): حيث تُرص شكاير من الجوت معبأة بالخرسانة بعناية تحت الماء بواسطة غواصين، وتشكيل جسم العضو المراد صبه برص الشكاير، ثم يحدث أن تشك الخرسانة، فيتصلب العضو، وتستخدم هذه الطريقة في عمل سدود لتهئية سرعة المياه في المجارى المائية، ومعالجة وترميم بعض التآكلات بالمنشآت البحرية.

### 3-3-3-4 صب الخرسانة بالمضخات (Placing by Pumping Method):

وهي عبارة عن ضخ الخرسانة بعد صبها في مواسير مرنة أو جسئة (Rigid) إلى أماكن الصب في قوالب. وتُعتبر هذه الطريقة من الطرق التي تحقق إنتاجية صب عالية، وهي تُستخدم في أغلب الإنشاءات، ولو أنها تُفضل في المواقع الغير متوفر فيها معدات تشييد. ولا تُفضل في الأماكن المرتفعة جداً لغلو ثمن المواسير وارتفاع قيمة الطاقة المبذولة، وبالتالي تؤثر على إقتصاديات المشروع.

#### \* أنواع المضخات:

##### 1- المضخات ذات المكبس (Piston Pumps):

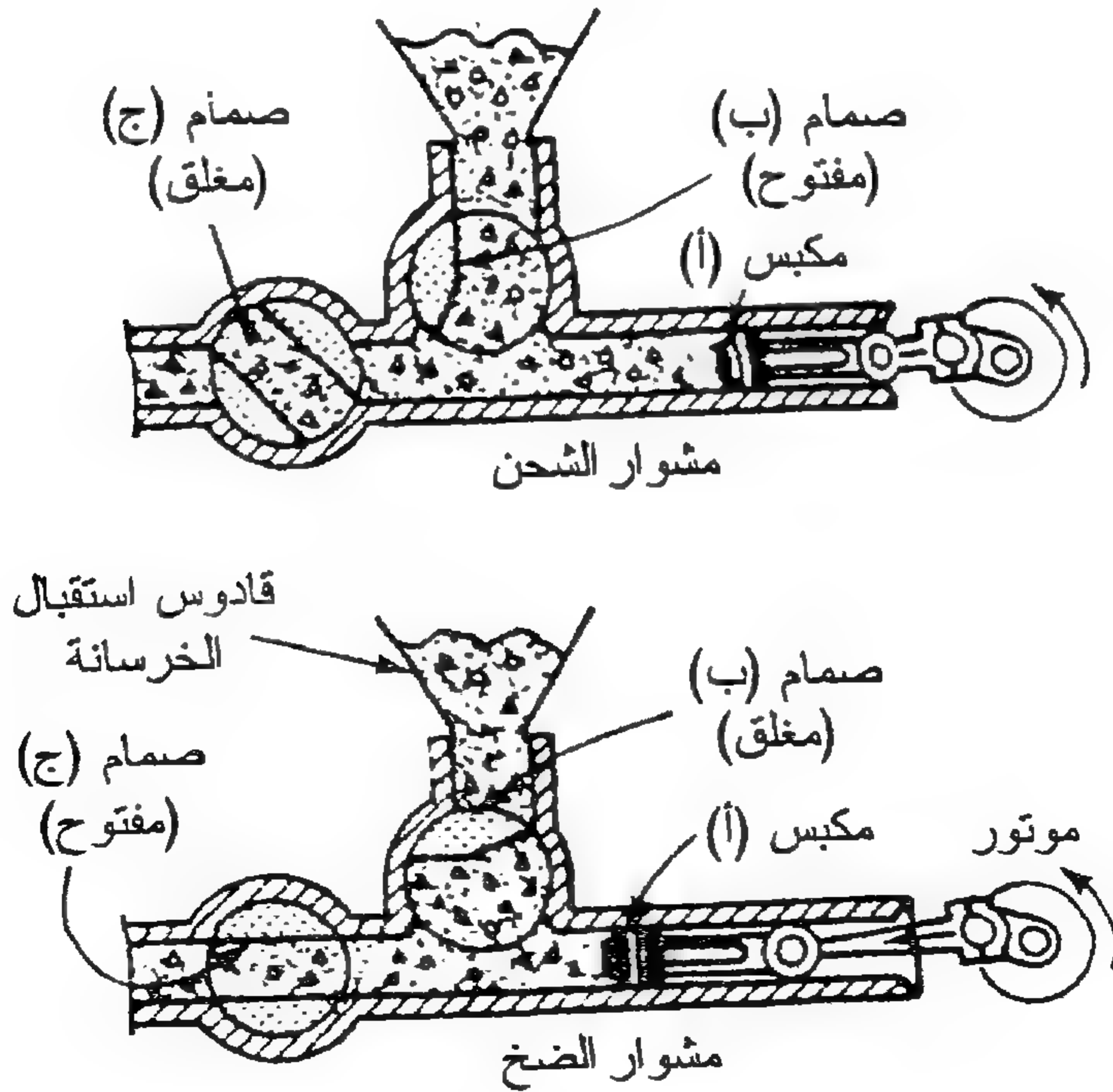
وهي تختلف من منتج إلى آخر، وعموماً فإنها تتكون من الأجزاء الرئيسية التالية:

1- قادوس يستقبل الخرسانة الطازجة من الخلطة.

2- اسطوانة تستقبل الخرسانة من القادوس.

هذه الاسطوانة تلتقي بالقادوس على هيئة حرف T مقلوب، وبالتالي يكون لها ثلاث فتحات:

- الفتحة الأولى: يعمل عليها مكبس (أ) متصل بموتور يعمل بالديزل أو بالكهرباء.
- الفتحة الثانية: يعمل عليها صمام (ب) يتحكم في دخول الخرسانة من القادوس للاسطوانة.
- الفتحة الثالثة: فيعمل عليها صمام (ج) يسمح بخروج الخرسانة من المضخة إلى المواسير وليس العكس (شكل 4-9).



شكل (4-9) المضخة ذات المكبس

٢. مواسير مرنة من المطاط المقوى أو من وصلات من المواسير الجسنة.

• نظرية العمل:

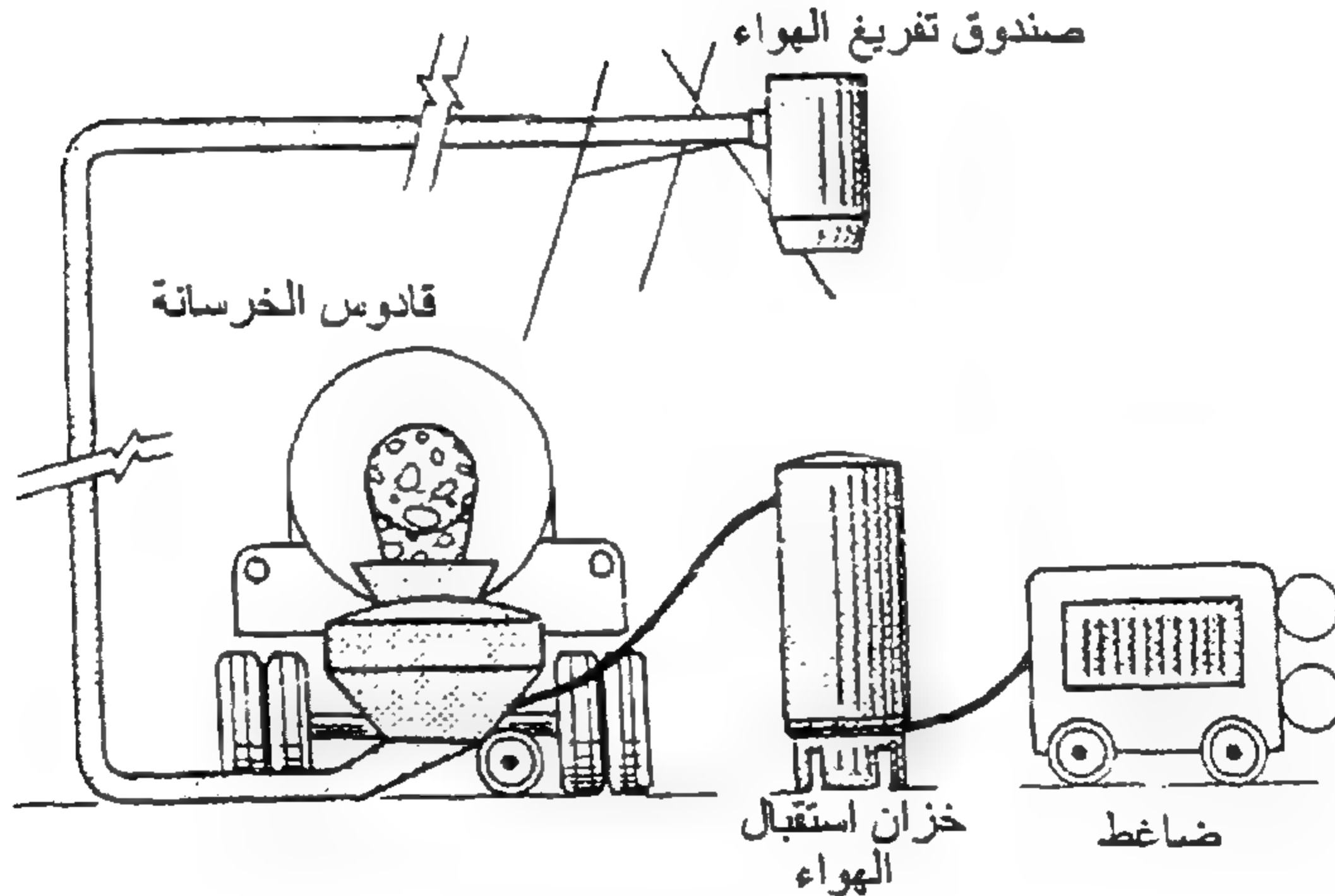
ينقسم عمل المضخة إلى مشوارين: المشوار الأول؛ هو مشوار الشحن، وفيه يتحرك المكبس (أ) إلى الخارج، وبالتالي يفتح الصمام (ب)، فيسمح بنزول شحنة من الخرسانة للاسطوانة، في حين سيكون الصمام (ج) غالقاً للاسطوانة، والمشوار الثاني؛ هو عكس المشوار الأول، حيث يتحرك صمام المكبس (أ) للداخل، وبالتالي يغلق الصمام (ب)، ويلبى ذلك فتح المكبس (ج)، فتندفع الخرسانة في المواسير.

وعموماً تتغير سعة القادوس من 0.10 إلى 1.5 م<sup>3</sup>، وغالباً ما يكون مزود بأجهزة إعادة خلط؛ لكي يحافظ على قوام وتجانس الخلطة.

ب - المضخات الهوائية *Pneumatic Pump*:

ويتكون هذا النوع من المضخات من الأجزاء الرئيسية الآتية، كما هو مبين بشكل (10-4).

- 1- خزان هواء.
- 2- ضاغط للهواء.
- 3- مستقبل الخرسانة من الخلطة.
- 4- المواسير الناقلة.
- 5- خزان تصريف الهواء.



شكل (10-4) المضخة الهوائية

• نظرية العمل:

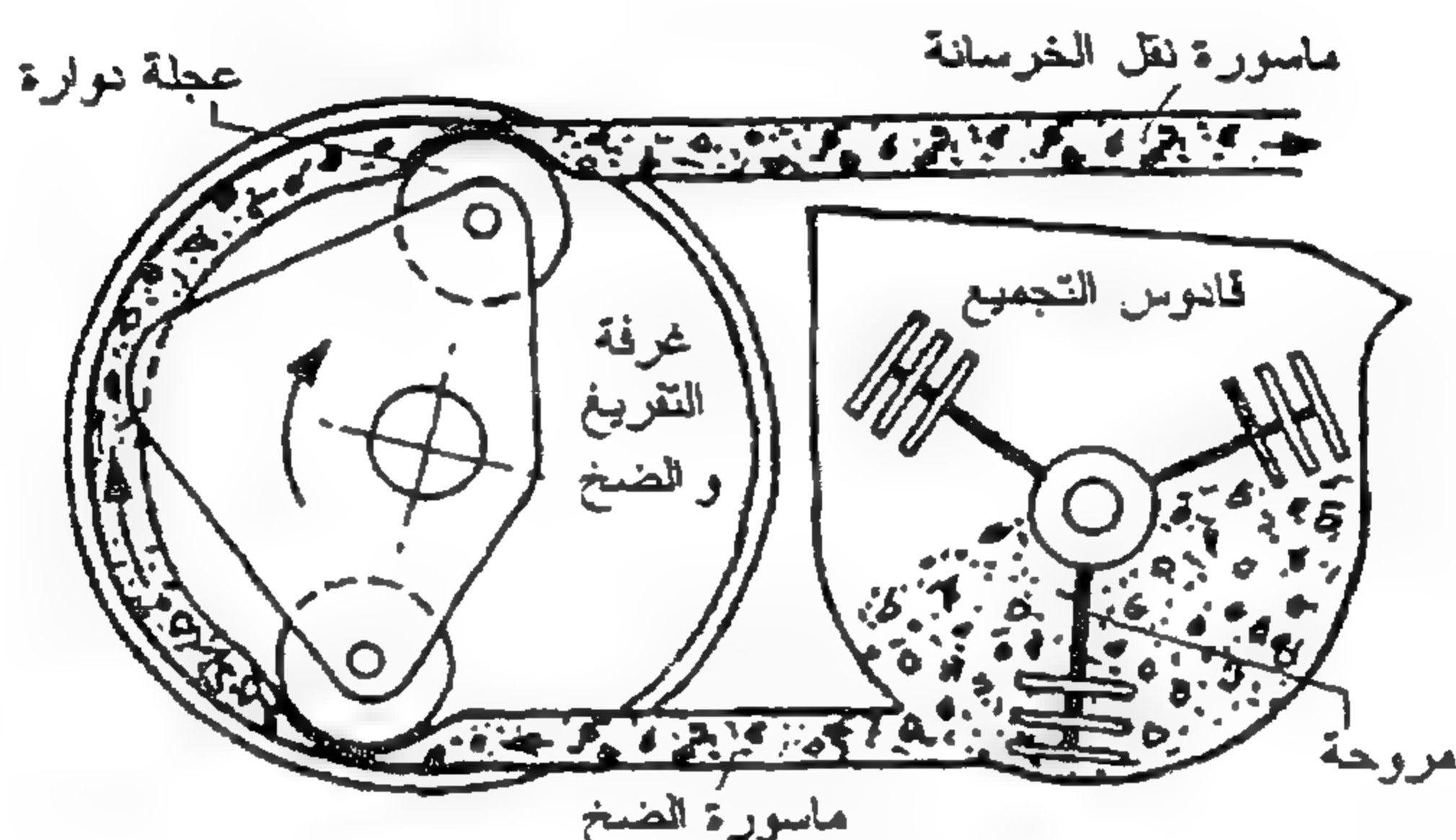
يتم شحن مستقبل الخرسانة، ثم يتم تشغيل ضاغط الهواء ليولد ضغطاً على الهواء في الخزان، فيندفع الهواء بقوة إلى مستقبل الخرسانة، حيث يدفعها في المواسير، وعند النهاية تصب في خزان لتصريف الهواء الموجود بالخلطة، ثم تندفع الخرسانة لمكان الصب،

وتستخدم تلك المضخات لنقل الخرسانة لمسافات طويلة، وتستخدم بدون خزان تصريف الهواء في أعمال الترميم.

### جـ - مضخات الضغط والدفع *Squeeze Pressure Pump*:

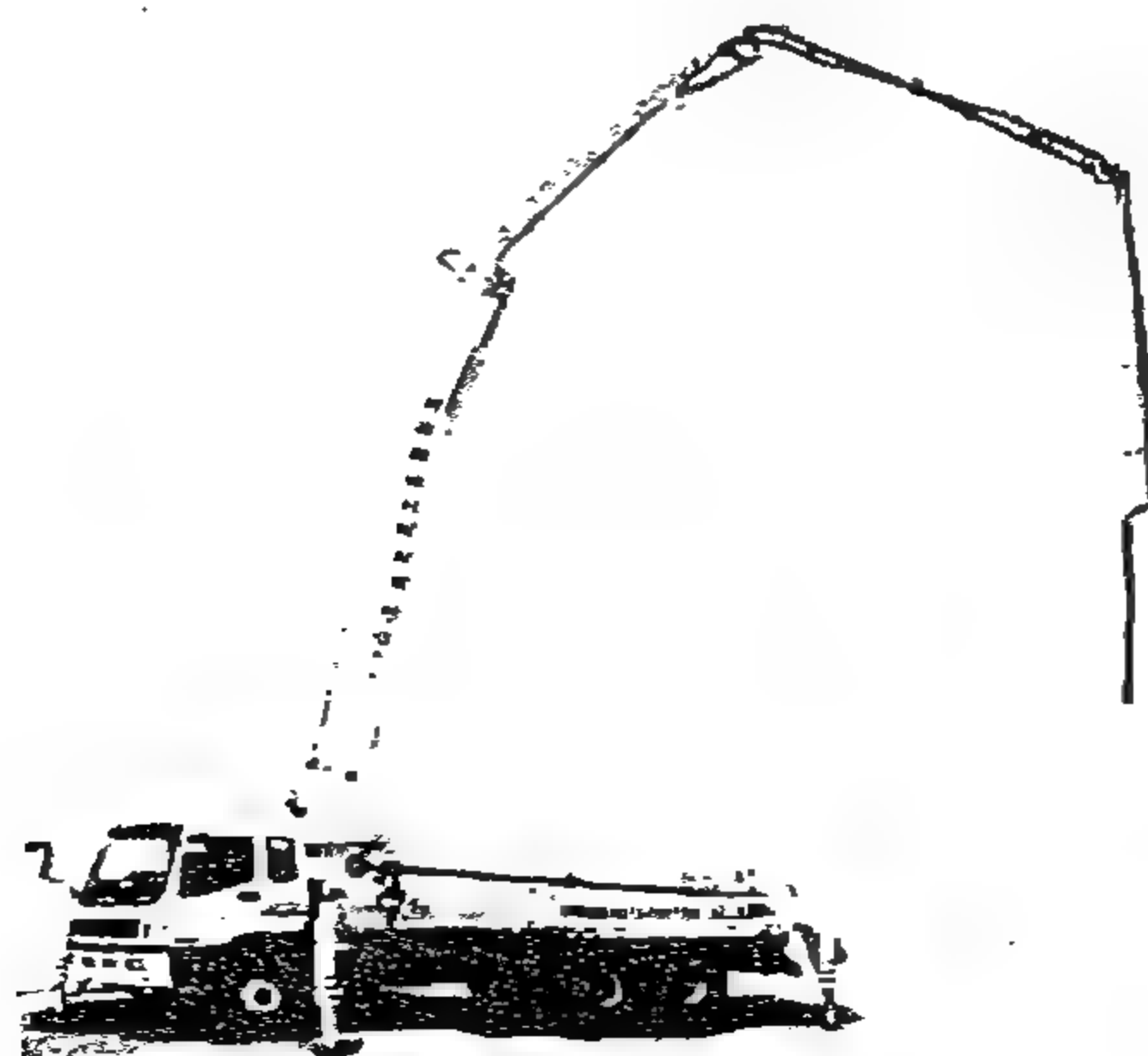
وكما هو واضح من الشكل (4-11-أ) تتكون المضخة عموماً من:

- 1- قাদوس لتجميع الخرسانة.
- 2- ماسورة ضخ مرنة تتصل من جهة بقادوس التجميع المزود بمراوح لدفع الخرسانة، ومن جهة أخرى تتصل بماسورة الخرسانة.
- 3- وحدة الدفع؛ وهي مزودة بعجلتين دوارتين (أ، ب) تحدث اختناق في مواسير الضخ، ثم تدفع الخرسانة إلى أعلى وإلى الأمام، وجدير بالذكر أنها مزودة كذلك بغرفة لتفريغ الهواء أمام دفعة الخرسانة، مما يساعد على سهولة انسياب الخرسانة.
- 4- مواسير نقل الخرسانة؛ وهي إما مرنة أو جسئة.



شكل (4-11-أ) مضخة الضغط و الدفع

وهذه المضخات قوية لأن بها عدة وسائل لشحن الخرسانة بالطاقة؛ مثل المراوح ووحدات الدفع وعملية تفريغ الهواء. ومن المهم التنويه إلى أن مضخات نقل الخرسانة اليوم عبارة عن مضخات متحركة لأنها تتركب على سيارة والمواسير عبارة عن وصلات مفصلية تُستخدم لنقل الخرسانة، كما هو موضح بشكل (4-11-ب).



شكل (4-11-ب) مضخة متحركة



وفي المنشآت العالية كمناطحات السحاب يتم دفع الخرسانة بواسطة المضخة المنسوب معين في المبنى، وعند ذلك المنسوب يتم خلط خرسانة جديدة يتم دفعها لبقاى الطوابق بمضخة مثبتة عند هذا المنسوب.

#### \* خواص الخرسانة والمواد المستخدمة فى المضخات: أ - الركام:

عموماً فإن الركام الدائرى يفضل عن الركام الزاوى، ولو أن كلا منهما يُستخدم. وكذلك فإن الزلط والركام الصخرى الغير قابل لامتصاص المياه تكون له الأولوية فى الاستخدام.

وعموماً فإنه للركام الزاوى المستخدم فى المضخات، يجب ألا يزيد مقاسه الاعتبارى الأكبر عن ثلث القطر الداخلى للمواسير حاملة الخرسانة أو مواسير الضخ أيهما أقل، فى حين يصل هذا المقاس إلى 40% من القطر الداخلى فى حالة الركام الدائرى.

وأيضاً فإن الركام الأملس يكون أكثر تفضيلاً عن الركام الخشن. ومن المناسب ألا تتعدى نسبة الركام الكبير نسبة معينة حيث أن زيادته قد تسبب مشاكل كثيرة فى الموقع، لذلك فإن مصمم الخلطة الخرسانية عليه أن يقلل محتوى الركام الكبير قليلاً عن الخلطة المستخدمة فى طرق الصب العادية.

أما الرمل فهو يلعب دوراً أكثر أهمية حيث أنه مع الأسمنت والماء يمثل المونة الحاملة للركام الكبير. والرمل المستخدم فى المضخات تتراوح معايير نعومته بين 2.13 و 3.37، ولو أن القيم العالية منه غير مفضلة؛ حيث أن الرمل الناعم يكون أكثر كفاءة؛ لمقاومته الجيدة للانفصال، وبالتالي يساعد على كفاءة الضخ، ولذلك نرى أنه يفضل استخدام رمل معايير نعومته بين 2.30 و 2.60.

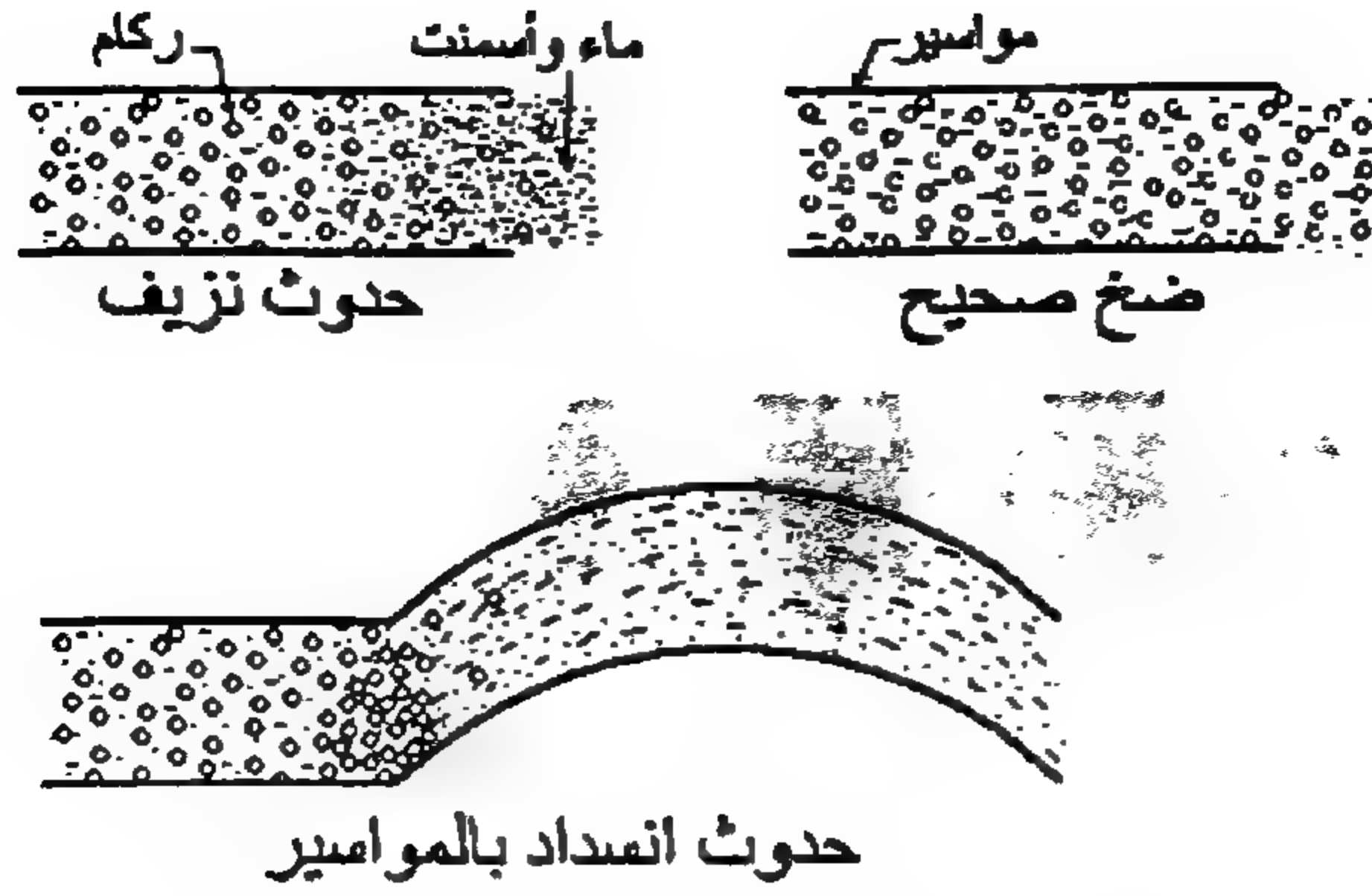
#### ب - الأسمنت:

يفضل استخدام الأسمنت البورتلاندى العادى، وقد يمنع استخدام الأسمنت سريع التصلد، وخاصة فى حالة المسارات الطويلة التى قد تؤدى إلى مشاكل كثيرة. أما محتوى الأسمنت فيتحكم فيه احتياجات كلاً من درجة التشغيلية ومقاومة الضغط المطلوبتان.

#### ج - محتوى الماء (Water Content):

من أهم متطلبات الخرسانة المستخدمة فى المضخات هو أن تكون قادرة على الضخ بدون حدوث إدماء أو انفصال فى مكوناتها، وفى حالة غياب الإضافات، فإن الماء يلعب دوراً هاماً جداً، ويجب على المهندس فى الموقع ألا يلجأ للزيادة العشوائية فى الماء أملاً فى الحصول على خرسانة سهلة الضخ؛ فإنه يؤدى إلى مشاكل وخيمة.

فقد يحدث نزيف؛ مما يؤدى إلى نقص فى المقاومة المتوقعة، وقد يحدث فى حالة زيادة كمية المياه أن يسير الماء حاملاً أغلب حبيبات الأسمنت بسرعة ويترك الركام راقداً فى المواسير، ومع مرور الوقت يحدث تراكم للركام؛ مما يؤدى إلى انسداد المواسير، وفى هذه الحالة، يرجع القائمون بالعمل هذه المشاكل إلى نظام المضخات، فى حين أنه يعود لقلة المعلومات والخبرة، انظر شكل (4-12).



شكل (4-12) الضخ الصحيح وعيوب الضخ

#### د - الإضافات (Admixtures):

أحياناً يكون من الضروري إضافة بعض المواد إلى الخرسانة، وذلك لأداء غرض معين، ومن هذه المواد:

- المواد الملدنة Plasticizer.
- المواد الملدنة المؤجلة والمواد عالية التلدين Super-plasticizer.
- المواد المسببة للهواء المحبوس.

وهذه المواد كلها تسبب تحسن في درجة التشغيلية، ومنها من يؤجل شك الخرسانة ويقلل من فقد التشغيلية مع الزمن وقد تستخدم الإضافات المعدنية لتقليل النزيف والانفصال.

ويلاحظ أن المواد الملدنة والعالية التلدين والمواد المسببة للهواء المحبوس تتميز بحفظ التجانس للخلطة وتقلل من ظاهرة انفصال أو نزيف الخرسانة.

ومن المفضل أن نشير إلى أهمية استخدام المواد المؤجلة في حالة طول خط المواسير أو زيادة ارتفاع المنشأ، ومن الأمور الهامة للمهندس الاستشاري ألا يأخذ عينات الخرسانة (المكعبات والإسطوانات) من الخلطة؛ بل تؤخذ عند نهاية خط المواسير (مكان الصب)، حيث أنه سيمثل الخرسانة في آخر مراحلها، ومن الضروري كذلك في حالة ملاحظة النزيف أو الانفصال بالعين أن يتخذ القرار المناسب.

#### هـ - توصيات عامة (General Recommendation):

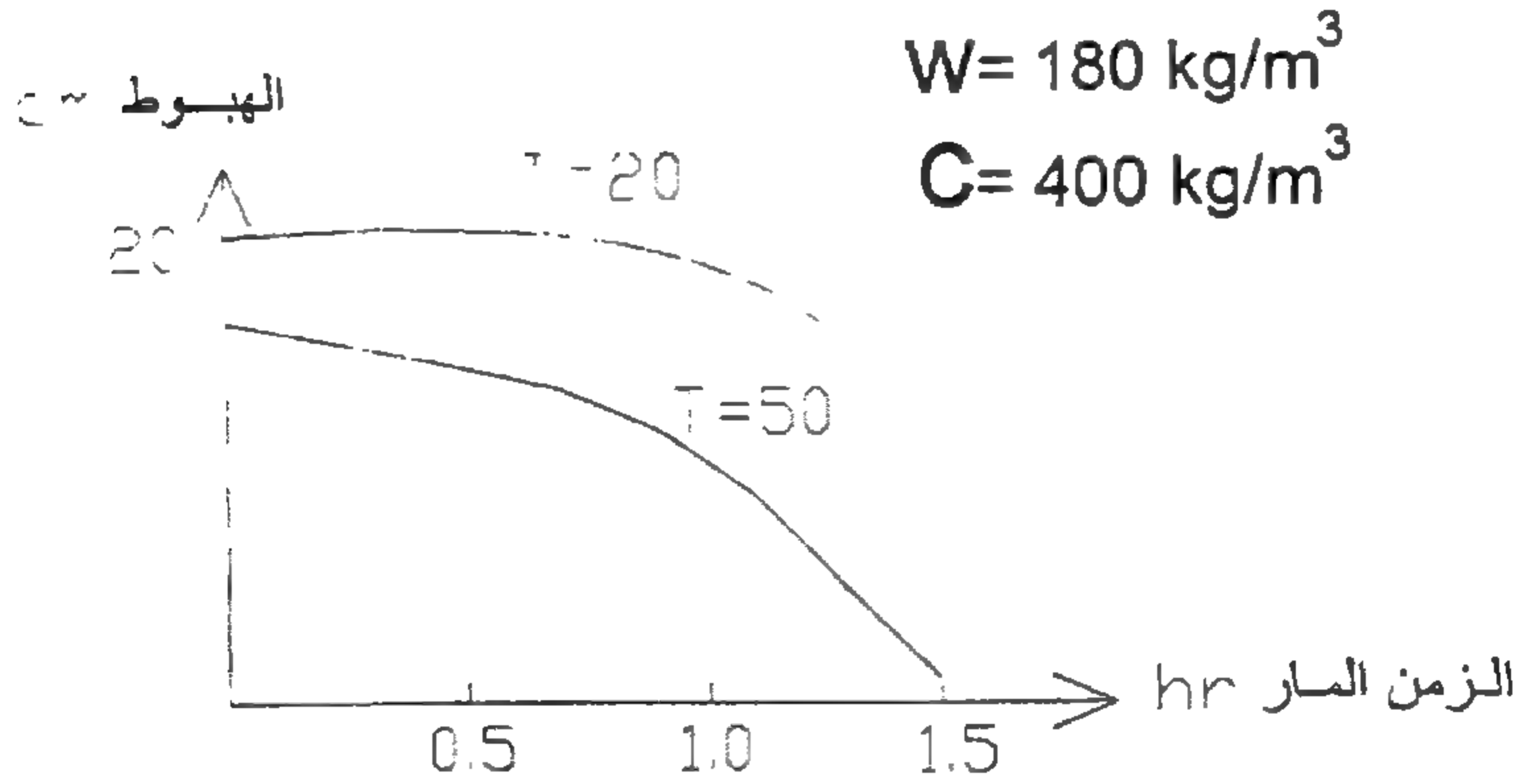
- 1- يجب ألا يكون تخطيط الموقع العام لوحدات الضخ عشوائياً؛ بل يجب عمل تصميم مسبق، بحيث يقلل من فواقد الطاقة ويقلل الزمن.
- 2- مسار خط المواسير يفضل أن يكون المسار الذي به أقل انحناءات.
- 3- يجب أن يكون هناك وحدات إضافية جاهزة لتعويض أي جزء قد يصيبه العطل، سواء للخلطة أو للمضخة.
- 4- في حالة ضخ الخرسانة في مرتفعات، فيجب تزويد المواسير بالقرب من المضخة بصمام يمنع رجوع الخرسانة في الطريق العكسي، أما في حالة ضخ

- الخرسانة لأسفل لأعماق 15متر أو يزيد فيجب وضع صمام لتصريف الهواء المتجمع، ولابد من حدوث تفريغ في منتصف مواسير نقل الخرسانة.
- 5- قبل بدء ضخ الخرسانة يجب تشغيل جميع الوحدات أولاً، والتأكد من صلاحيتها، ثم يلي ذلك ضخ مونة أسمنت في مواسير نقل الخرسانة؛ حتى تبطن بلباني الأسمنت الذي يقلل من الاحتكاك.
- 6- يفضل بعد فترة تشغيل أن يُضبط معدل صب ثابت، وغير مسموح بإيقاف عملية الضخ.
- 7- في حالة انسداد إحدى وصلات المواسير، فيتم إدخال قضيب من الصلب، وإلا فقد يلجأ لضخ تيار من الماء أو الهواء.
- 8- يتم غسل المضخة والمواسير عند نهاية العمل.

### 4-3-3 صب الخرسانة في الأجواء الحارة (Hot Weather Concreting):

في الأجواء الحارة حيث ترتفع الحرارة وتقل درجة الرطوبة وتزداد سرعة الرياح، تتأثر خواص الخرسانة في مراحلها الثلاثة، ويجب على المهندس التحكم في صب الخرسانة؛ حتى تقلل من التأثيرات السلبية على الخرسانة.

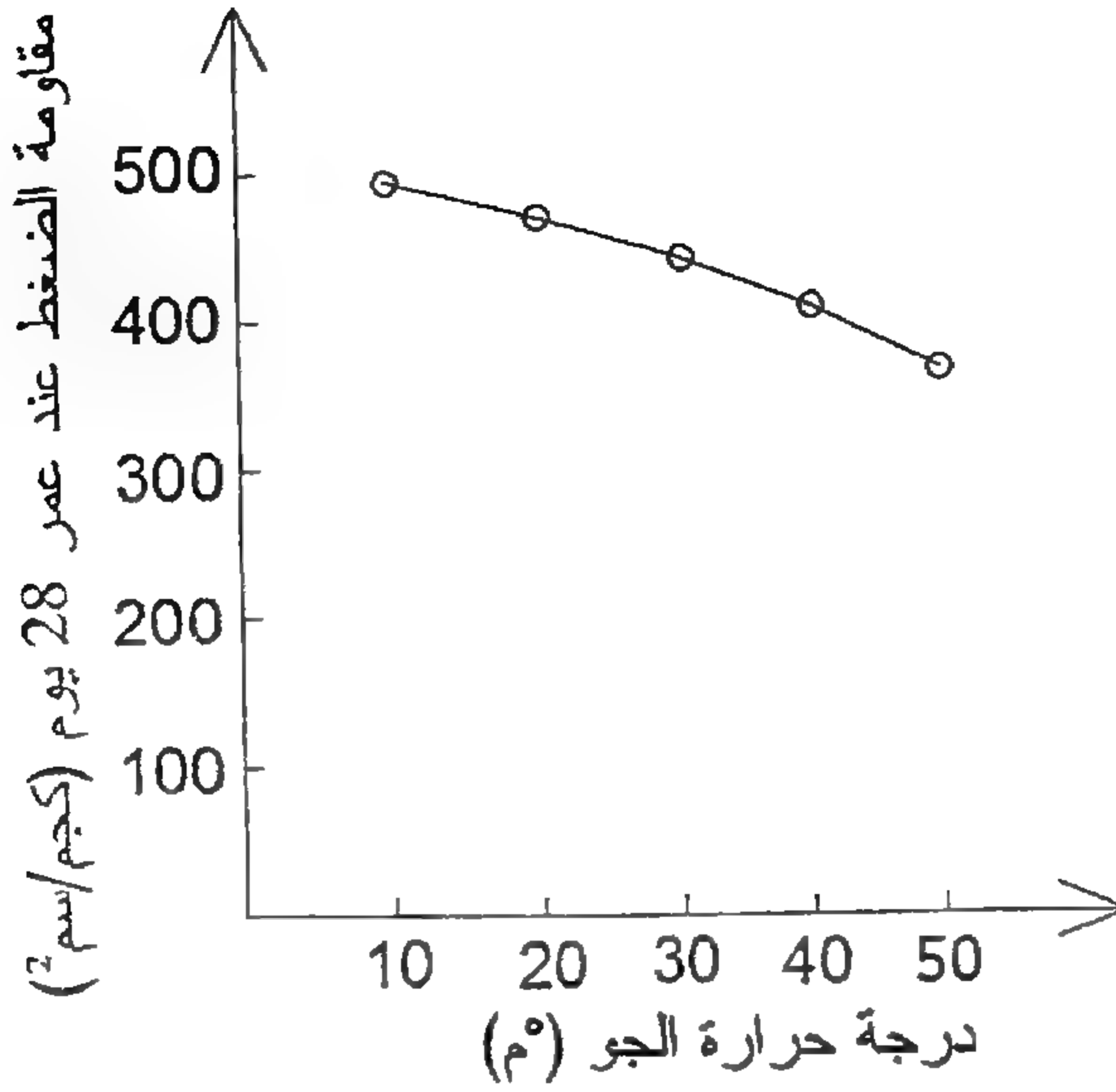
- 1- تأثير الجو الحار على خواص الخرسانة الطازجة:
- إن الخرسانة يقل هبوطها اللحظي ويزداد فقد الهبوط مع الزمن، كما بالشكل (4-13)، ويلاحظ أن متطلبات ماء الخلط تزيد في الجو الحار.



شكل (4-13) شكل تخطيطي يوضح تأثير الجو الحار على فقد الهبوط مع الزمن

- 2- تأثير الجو الحار على الخرسانة الخضراء:
- إذا تركت الخرسانة في الجو الحار بعد صبها دون معالجة، فتجف الخرسانة وتتعرض لانكماش مبكر؛ يؤدي إلى ظهور شروخ بها تقلل من حمليتها.
- 3- تأثير الجو الحار على خواص الخرسانة المتصلدة:
- يؤدي الجو الحار لزيادة مقاومة الخرسانة المبكرة؛ نظراً لزيادة معدلات التفاعل بين الأسمنت والماء، أما مقاومة الضغط عند 28 يوم و 90 يوم في حالة إهمال أخذ احتياطات كافية، فإنها تقل مع زيادة درجة الحرارة، وهذا النقصان يكون أكبر من 20% بالمقارنة بالأجواء العادية، وربما يعود ذلك إلى عدم انتظام تكون جل الأسمنت

المتكون مبكراً نتيجة الجو الحار والتأثيرات السلبية على خواص الخرسانة الطازجة، انظر شكل رقم (4-14).



شكل (4-14) تأثير درجة الحرارة المحيطة على مقاومة ضغط الخرسانة

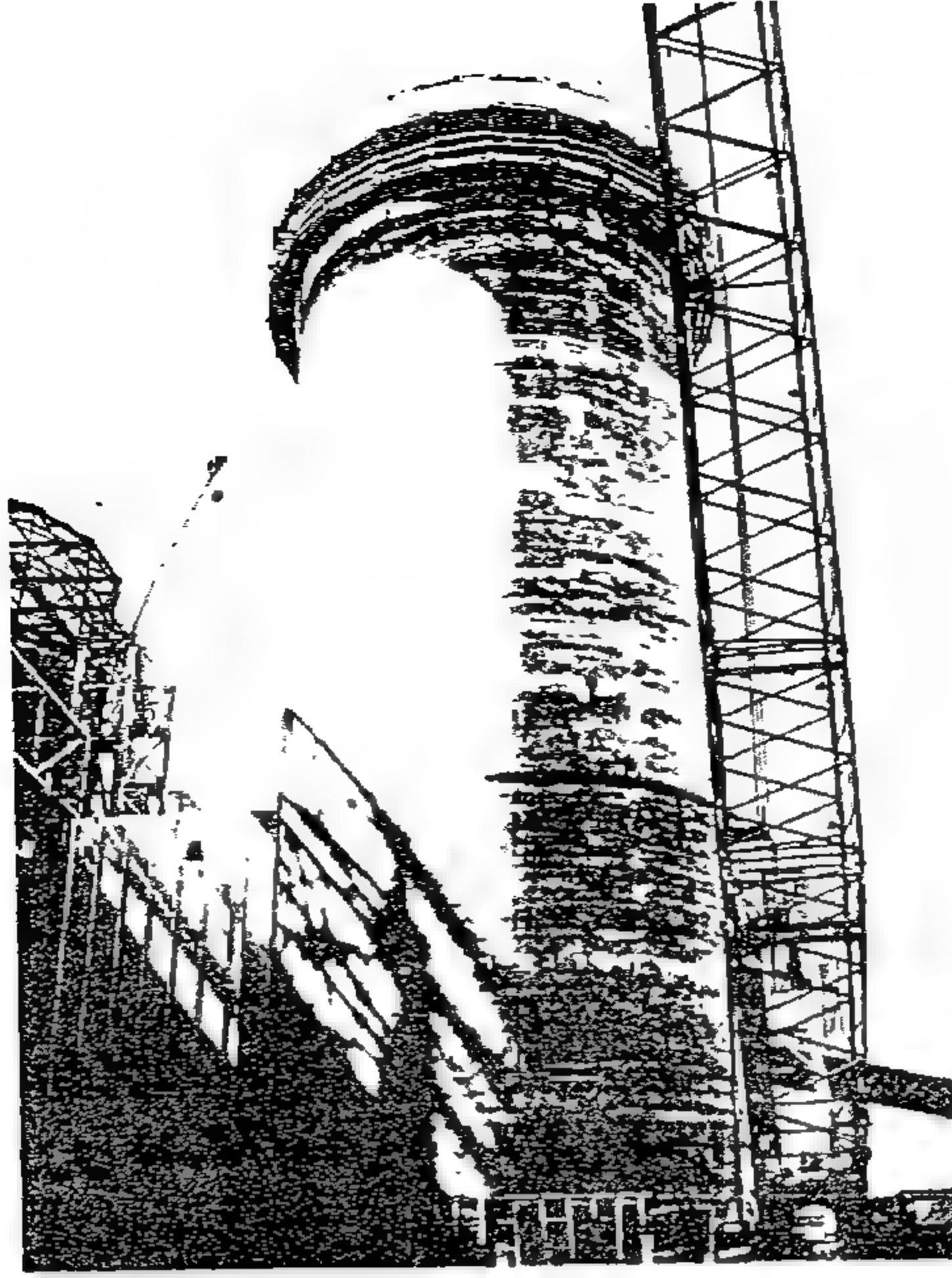
#### \* الإحتياطات:

- يجب على المهندس أن يراعى ما يلي:
- لا تزيد درجة حرارة الخرسانة الطازجة عن 35 درجة مئوية.
- عمل مظلات للركام.
- دهان المعدات بلون أبيض.
- استخدام ماء مبرد أو ثلج كجزء من ماء الخلط.
- الاهتمام بفرش ألواح بلاستيك (بولي إيثيلين) على سطح الخرسانة بعد الخلط مباشرة.
- الإسراع بالمعالجة.
- إضافة ألياف في القطاعات الغير مسلحة لتحمل إجهادات الشد الناشئة عن الانكماش، وتستخدم ألياف البولي بروبيلين بكفاءة في تلك الحالة، وقد تم استخدامها في تبطين الترع بمشروع توشكى بكفاءة.

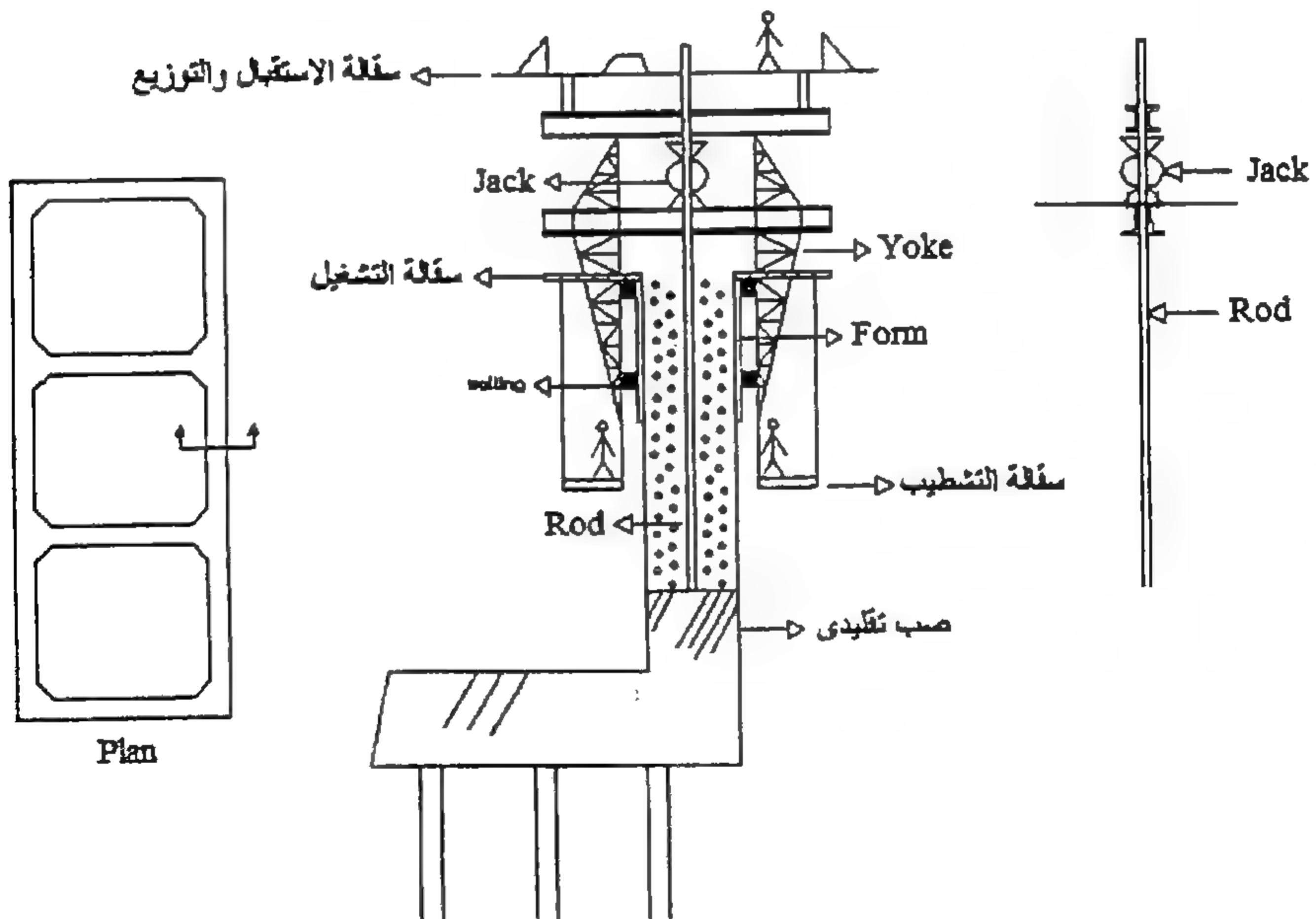
#### 4-3-3-5 صب الخرسانة بالشدات المنزلقة:

شكل رقم (4-15 أ) يوضح أحد المنشآت (صومعة) التي يستخدم فيها الشدة المنزلقة.



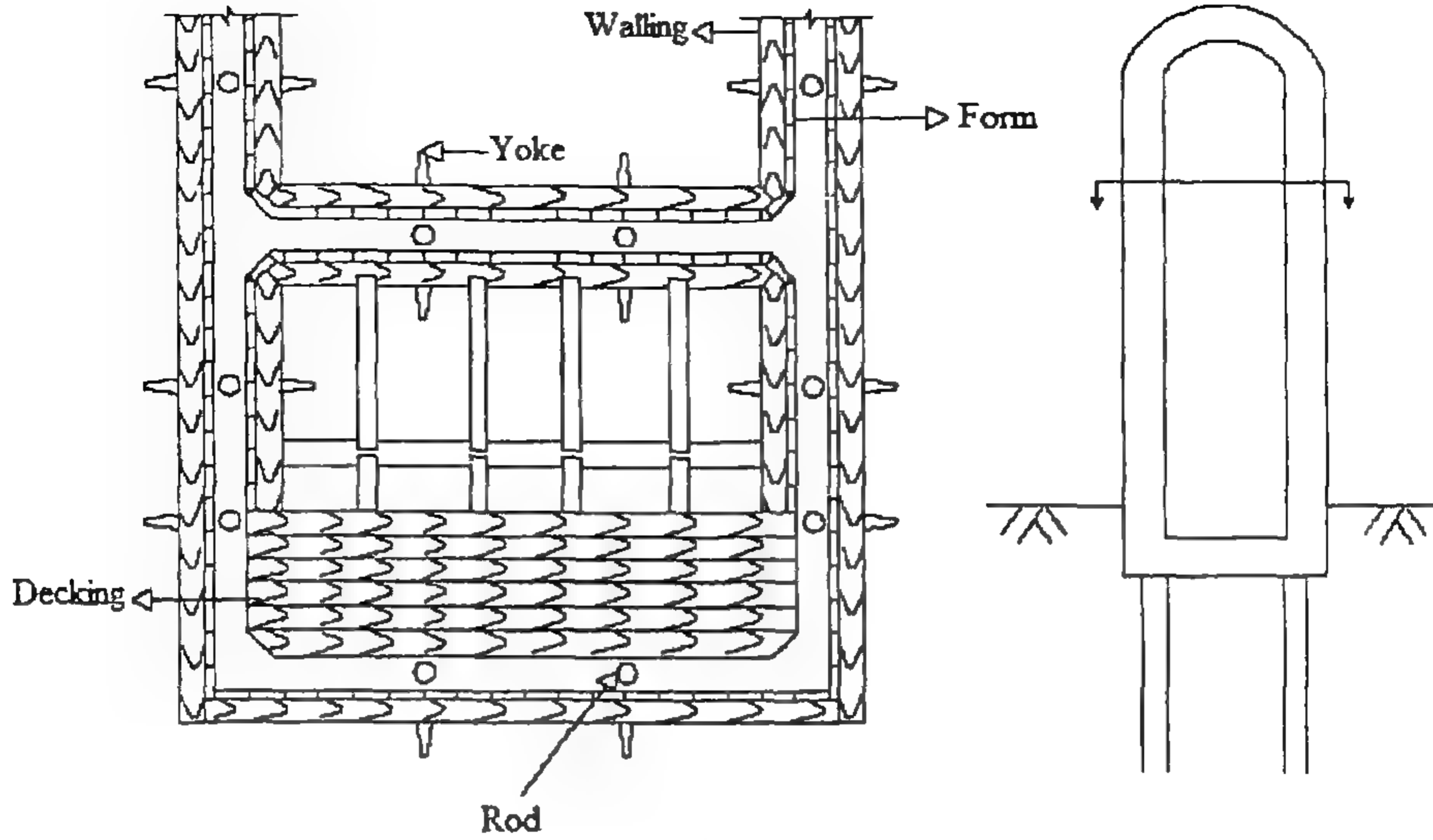


شكل رقم (4-15-أ) مثال لأحد المنشآت المستخدم فيها الشده المنزلقه



شكل (4-15-ب) مسقط أفقي لصومعه وقطاع رأسى موضح عليه تركيب الشده المنزلقه .

شكل رقم (4-15-ب) يوضح قطاع رأسى فى الشدة المنزلقة لأحد حوائط صومعه وتفصيله لقضيب الارتكاز والمضخة .



شكل رقم (4-16) يوضح مسقط أفقى لترتيب اجزاء الشدة المنزلقة.

#### • مقدمة:

صب الخرسانة بإسلوب الشدات المنزلقة هو عبارة عن صب خرسانة داخل شدات قادرة على الحركة وبعد فترة معينة تترك الخرسانة بعد شكها و بحيث تكون الخرسانة قادرة على تحمل وزنها و تكون فى مرحلة التصلب. وهذه الشدات إما أن تنزلق فى الاتجاه الرأسى فتعطى امتداد للخرسانة المصبوبة فى هذا الإتجاه وتسمى عند ذلك بالشدات المنزلقة الرأسية وتستخدم فى صب الصوامع وقلوب المنشآت العالية وبغلات الكبارى، أو تنزلق فى الاتجاه الأفقى فتسمى بالشدات المنزلقة الأفقية وتستخدم فى تبطين قنوات الري والصرف.

#### • المكونات الرئيسية للشدات المنزلقة:

1. شدة رأسية من الخشب أو أى مادة أخرى بارتفاع محدود حوالى 1.3 متر (شدة الخرسانة) وهى تعمل كوعاء لصب الخرسانة فى داخلها.
2. مجموعة أذرع قوية من الصلب تحتضن الشدات السابقة وتسحبها معها لأعلى فى حالة حركتها.
3. قضيب الارتكاز: وهو قضيب من الصلب عالى المقاومة تنزلق عليه مضخة هيدروليكية (Hydraulic Jack).
4. السقالات (Platforms):
  - سقالة الاستقبال و التوزيع: وهى تكون أعلى من شدة الخرسانة بحوالى 1.8 متر ويستخدمها العمال وتستخدم كذلك فى التشوين الخفيف.
  - سقالة التشغيل: وهى ترتكز على شدة الخرسانة وترص حولها، ويستخدمها الحدادون فى رص الصلب ويستخدمها عمال الصب فى صب الخرسانة.

- سقالة التشطيب: وهى تعلق أسفل شدة الخرسانة ويستخدمها العمال فى معالجة الخرسانة وكذلك فى تشطيب أى عيوب فى الخرسانة.
- 5. المضخة الهيدروليكية: وهى مضخة مزودة بمجموعة مكابس وترتكز على قضيب الارتكاز. وهى مزودة بقمطة علوية وقمطة سفلية، والقمطة السفلية تمسك فى مجموعة الأذرع ومما هو جدير بالذكر أن مجموعة الأذرع تكون فى أسفلها ممسكة بكرتين على هيئة حرف C، ويمكن تلخيص عمل المضخة الهيدروليكية فيما يلى:
  1. تمسك القمطة العلوية للمضخة بالقضيب الارتكاز.
  2. تكون القمطة السفلية حرة ونتيجة تشغيل ضغط الزيت تقفز وتتحرك لأعلى حاملة معها الأذرع وشدة الخرسانة والسقالات.
  3. تنعكس دورة الزيت فتمسك القمطة السفلية بالقضيب ومعها مكونات الشدة المنزلقة وتتحرر القمطة العلوية من القضيب لتقفز لأعلى مع ضغط الزيت.
  4. تتكرر الدورة السابقة عدة مرات فتتلقى المضخة بسرعة متوسطة (30سم/ساعة) وهكذا تتحرك المضخة لأعلى أثناء صب الخرسانة لتترك الخرسانة بعد حوالى 4.5 ساعة بعد شكها الابتدائى ودخولها مرحلة الشك النهائى.

#### ● طريقة التشييد:

1. يتم صب الأساسات بالطريقة التقليدية.
2. يتم صب جزء من الحوائط بالطريقة التقليدية.
3. يتم رص الشدة كما هو مبين فى شكل (4-15 ب) و (4-16)، وكما هو موضح بالأشكال يتضح أن كل خلية (Silo) تحتاج لعدة مضخات وعدة قضبان كما أن المضخات الصغيرة المرتكزة على القضبان تتصل بخراطيم بمضخة مركزية توضع أعلى شدة الاستقبال للتحكم فى ضخ الزيت فى المضخات المختلفة لكى تتحرك كلها بسرعة واحدة حاملة معها الشدات والسقالات.
4. يتم صب الخرسانة فى الشدة لكامل المقطع الأفقى على هيئة طبقات سمك الطبقة حوالى 10سم ويتم تشغيل المضخات لتتحرك الشدات وبعد فترة حوالى 4.5 ساعة تكون الخرسانة مكشوفة فى الهواء بعد شكها.
5. يتم تتابع الصب و الانزلاق من بداية المنشأ إلى نهايته حيث يتم العمل 24 ساعة فى الموقع وباخذ معدل انزلاق 30سم/ساعة فإنه يتم صب حوالى 7متر فى اليوم، ويكون صب المنشأ متكامل مرة واحدة بدون فواصل.
6. فى الجو الحار يجب زيادة معدل الصب لتصل إلى حوالى 60سم/ساعة مع استخدام مواد مؤجلة لشك الأسمنت إن تطلب الأمر، وفى الجو البارد يتم إبطاء معدل الانزلاق ليصل إلى حوالى 20سم/ساعة مع استخدام مواد معجلة لشك الأسمنت.

#### ● ملاحظات:

1. يجب توفير إنارة قوية فى الموقع.
2. يجب توفير 3 ورديات عمل على الأقل فى اليوم.
3. يجب الحرص على صب الخرسانة على هيئة طبقات سمكها صغير حتى تشك معاً.
4. يجب توفير مضخة مع ونش لرفع الخرسانة وصلب التسليح والعمالة لأعلى.

2. يجب وضع علبه معدنية مغلقة مدهونة بالزيت من الخارج في داخل شدة الخرسانة في أماكن الفتحات المطلوبة في المنشأ ويستخرجها عمال التشطيب عند ظهورها.
3. يجب التأكد من أفقية سقالة التشغيل باستخدام الموازين والأجهزة المساحية والتأكد من رأسية المنشأ باستخدام الأجهزة المساحية وتعليق أنقال بحبال من السقالات لمراقبتها للحكم على رأسية شدة الخرسانة.
4. في حالة الرغبة في سحب قضيب الارتكاز من الخرسانة بعد انتهاء التشييد والذي يورد على هيئة وصلات يتم تركيبها بقلالووظ، يقوم المهندس بوضعه في ماسورة من الـ PVC قطرها الداخلى أكبر من قطر القضيب بمليمترات.
5. يجب وجود معدات احتياطية أثناء التنفيذ.
6. يجب على المهندس التخطيط الجيد لكيفية فك الشدة عند نهاية التنفيذ وكيفية صب الصومعة إن وجد.
10. هذه الطريقة اقتصادية في المنشآت العالية.

#### 4-3-6 صب الخرسانة بالشدات النفقية وبواكى الصلب الكبيرة:

وفكرة هذه الشدات هو عمل شدات من أخشاب الأبلاكاج أو الصلب تغطي باكية كاملة لصب حائط مسلح أو بلاطات على هيئة بواكى ولذلك تستخدم هذه الشدات فى المباني المتكررة وحالياً على مستوى العالم يتم استخدام شدات نصف نفقية (تغطي شدة الحائط ونصف البلاطة وهى على هيئة حرف L مقلوب) وتستخدم كذلك الشدات النفقية (تغطي شدة البلاطة والحائطين الحاملين لها وهى على هيئة حرف C مقلوب).

يتم رص الشدات للطابق الواحد سواء أكانت شدة حائط أو شدة بلاطة أو شدة نصف نفقية أو شدة نفقية.

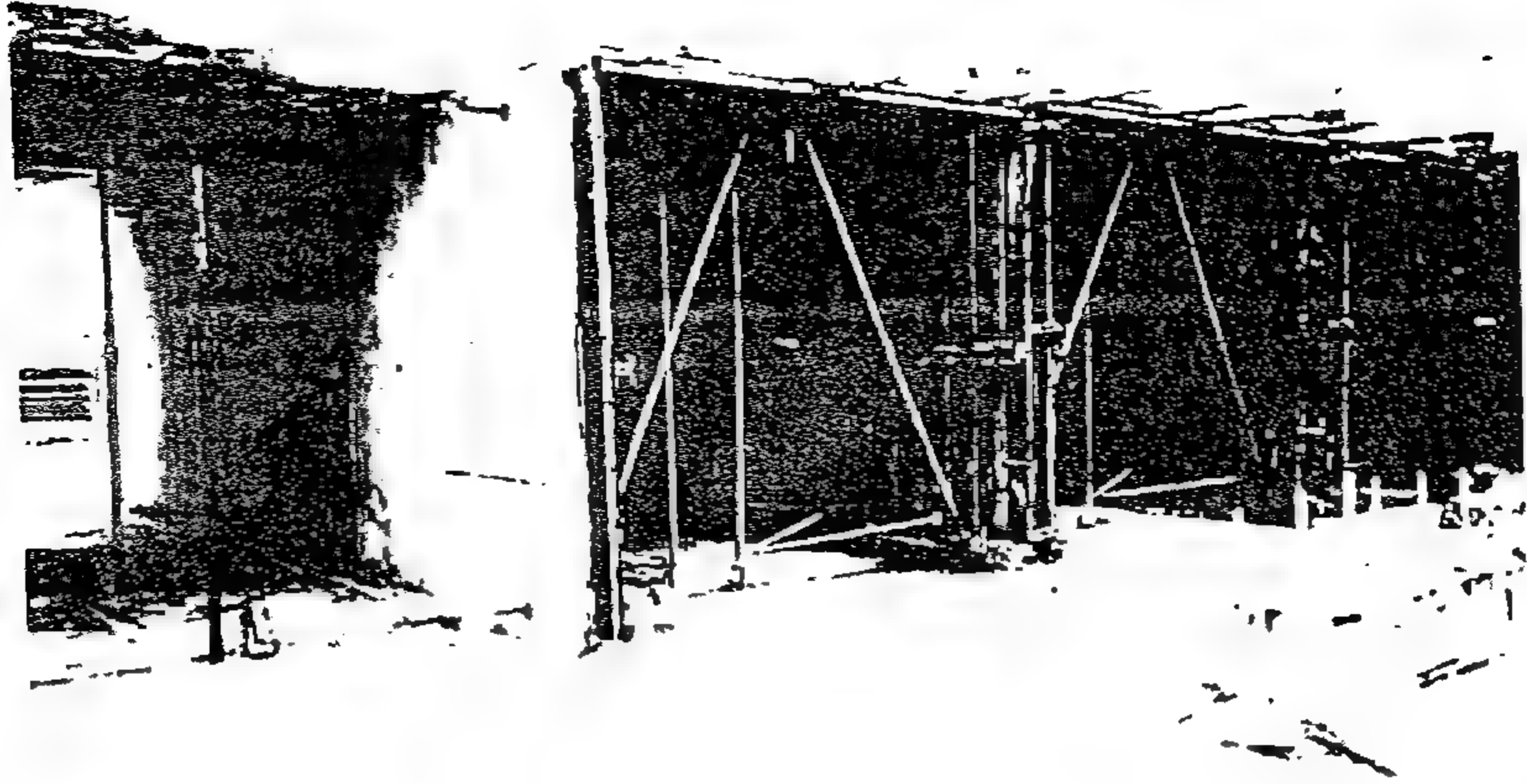
يتم رص صلب التسليح للحوائط و البلاطات والذي يكون على هيئة شبك ملحوم لأسياخ فى اتجاهين متعامدين.

يتم صب الخرسانة وعينات على هيئة مكعبات فى الشدات السابقة ويتم تعجيل شك الخرسانة بإضافة مواد معجلة للخرسانة أو إمرار تيار ماء ساخن فى مواسير تحيط بالشدات.

يتم فك الشدات بطرق خاصة بعد مرور 24 ساعة من صب الخرسانة (يتم اختبار العينات الموضوعة مع السقف للتأكد من تحقيق الخرسانة للمقاومة المطلوبة لفك الشدات).

يتم نقل الشدات بونش للطابق الجديد حيث يتم صب سقف كل 24 ساعة أو 48 ساعة على الأكثر وشكل (4-17) يوضح صورة لأحد هذه الأنظمة.





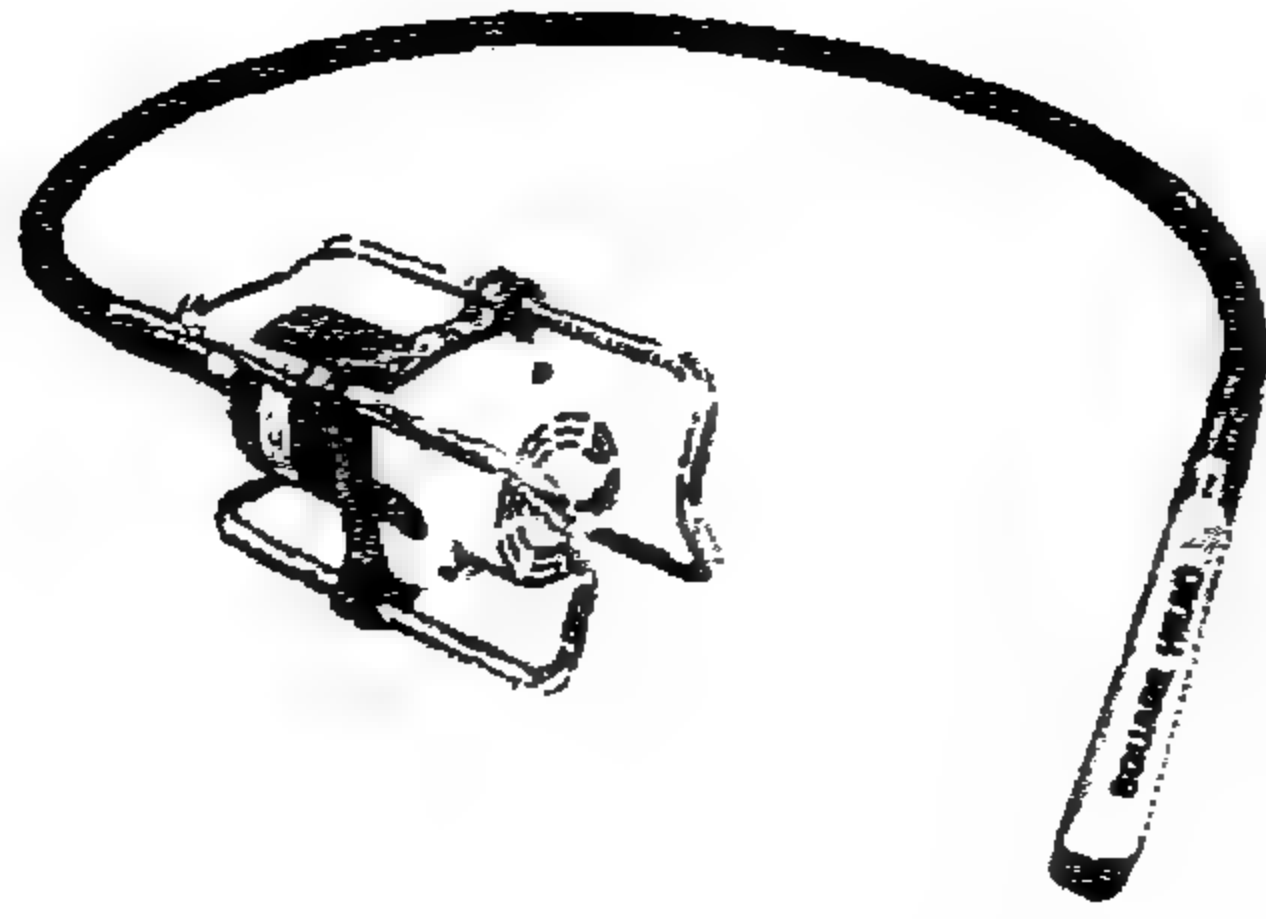
شكل (4-17) شدة نفقية

وسيتم مناقشة هذا الأسلوب بالتفصيل في الطبقات اللاحقة.

#### 4-3-4 دمك الخرسانة:

ويقصد به محاولة الحصول على أعلى كثافة للخرسانة؛ عن طريق نقل طاقة خارجية للخرسانة الطازجة، مما يسهل تحريكها لملء الفراغات، ويتم الدمك إما:

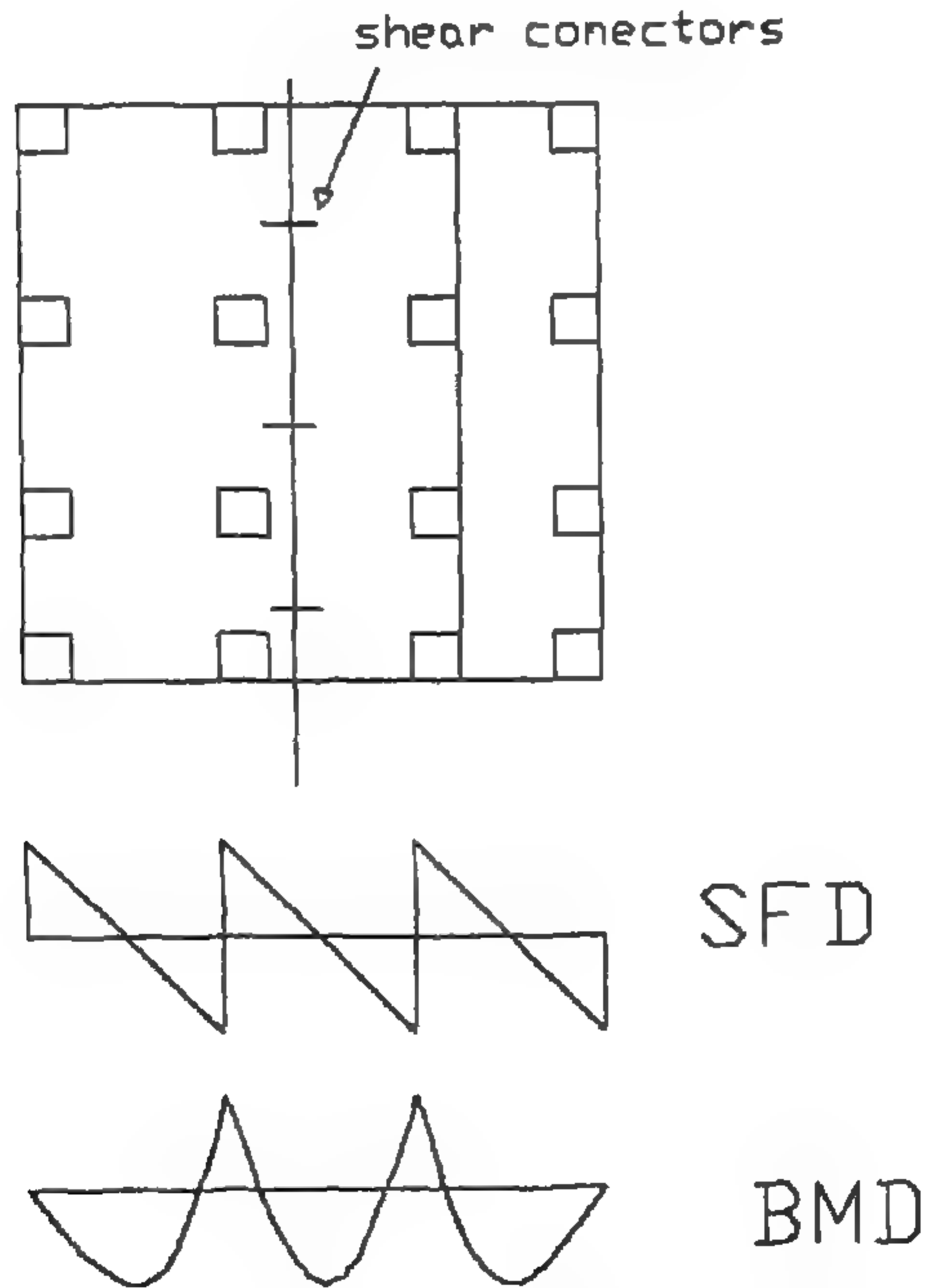
- 1- يدوي: للخرسانة ذات التشغيلية العالية.
  - 2- ميكانيكي: باستخدام هزازات داخلية (ذات زمبة) أو هزازات خارجية تقوم بدمك العضو الخرساني.
- ويجب أن تتم عملية الدمك بطريقة صحيحة بحيث لا يحدث نزيف للخرسانة.
- ويجب أن يكون قطر الزمبة مناسب للمسافة الخالصة بين حديد التسليح، ويجب الدمك على خطوات في الاتجاه الطولي بحيث تكون المسافة بين كل خطوة لا تزيد عن مرة ونصف قطر تأثير الهزاز، كما يجب الدمك على طبقات الصب بحيث لا تشك الطبقة السفلية قبل دمك الطبقة العلوية، حيث يجب أن يخترقها الهزاز.
- ويلاحظ أن دمك الخرسانة له عدة فوائد منها:
- 1- زيادة وحدة وزن الخرسانة وإقلال الفراغات.
  - 2- السماح بتخفيض محتوى الماء المستخدم، وبالتالي رفع المقاومات للخرسانة.
  - 3- السماح بتخفيض محتوى الرمل، وما يتبعه من تحسن في مقاومة ضغط الخرسانة.
  - 4- في حالة وجود هزازات قوية، فإن تخفيض ماء الخلط يسمح بتوفير الأسمنت لنفس مقاومة الضغط.
- وشكل (4-18) يوضح صورة لأحد الهزازات الداخلية.



شكل (4-18) صورة لأحد الهزازات الداخلية

#### 4-3-5 فواصل الصب:

والمقصود بها الأماكن التي سيتم إيقاف الصب عندها بعد انتهاء يوم العمل، أو إذا كان هناك احتمال لانتهااء مادة من مكونات الخرسانة. يقوم المهندس بحساب معدلات الصب اليومية، وبناءً عليها يحدد مسبقاً أماكن فواصل الصب، ويُفضل دائماً أن تكون في الأماكن التي بها أقل قوى قص وبالقرب من نقاط انقلاب العزوم، ويُفضل دائماً أن يقوم المهندس بوضع أجزاء صغيرة من أسياخ التسليح في الخرسانة لتعمل كوصلات قص (Shear Connector)، انظر شكل رقم (4-19).



شكل (4-19) شكل تخطيطي يوضح أماكن فواصل الصب

#### 4-3 فواصل التمدد والانكماش:

يجب على المهندس أن يسمح للمنشأ بالتمدد والانكماش نتيجة العوامل الجوية، وإلا تتولد إجهادات يجب عليه أن يدخلها في التصميم الإنشائي، ويتطلب الكود المصري للمنشآت الخرسانية أن يترك فاصل تمدد في الأجواء الحارة كل مسافة لا تزيد عن 30 - 35 متر، ولا تزيد عن 40 - 45 متر في الأجواء المعتدلة.

وتمثل الأسوار حالة خاصة، حيث مفضل أن ألا تزيد المسافة عن 20 متر، ويجب على المهندس عمل فصل في الأعمدة والكمرات، ولا يفضل عمل فصل في القواعد؛ حيث تكون هناك قاعدة واحدة لعمودين، ويجب وضع مادة في الفاصل، ويجب أن تكون هذه المادة تتميز بالمرونة العالية لتحمل دورات التمدد والانكماش.

ويجب اختبار تلك المواد بحيث تكون قابلة على تحقيق انضغاط مرن معين قياسى من سمكها، ثم تكون قادرة على استرجاع الانضغاط بعد زوال الحمل من عليها، وتحسب المسافة بين فواصل التمدد  $\Delta l_t$  كما يلي:

$$\Delta l_t = F \Delta l$$

$$\Delta l = \alpha l_o \cdot \Delta t$$

$\Delta l$  الاستطالة الناتجة من التمدد.

$\alpha$  معامل التمدد الحرارى.

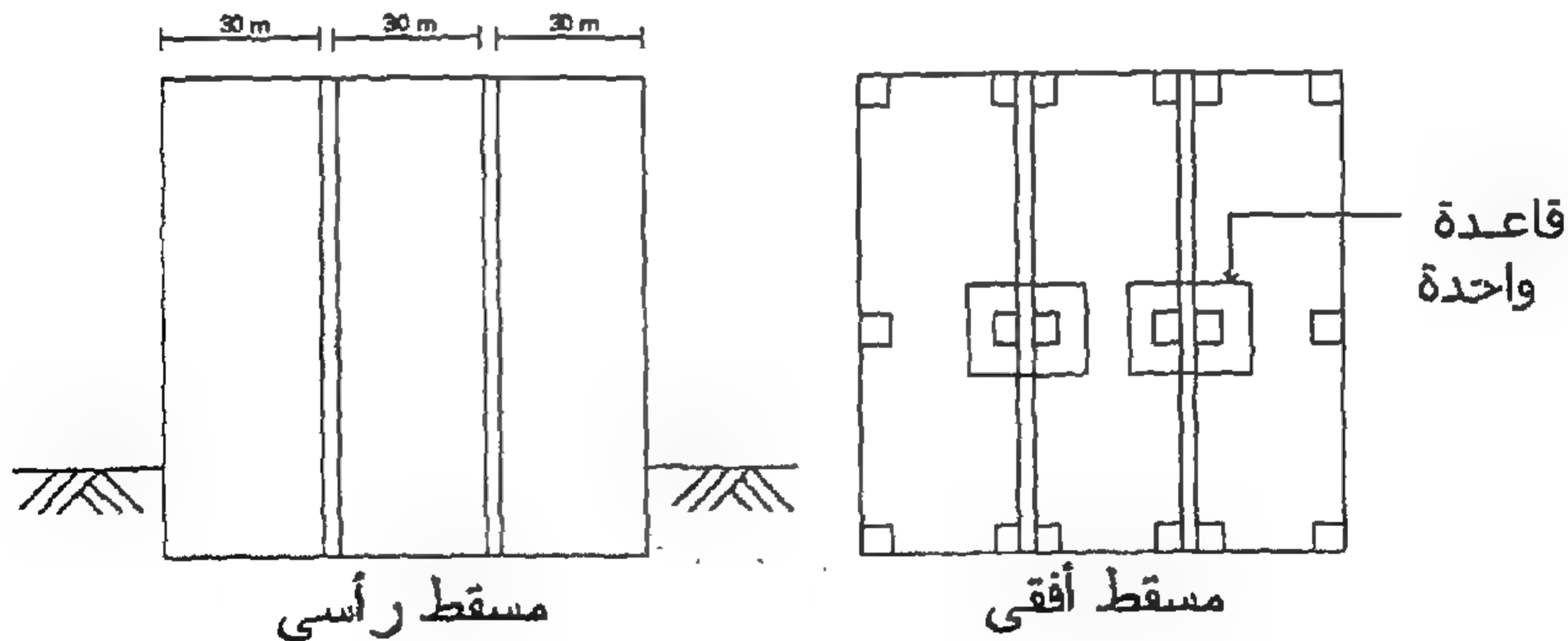
$l_o$  طول الجزء من المبنى بين فواصل التمدد.

$\Delta t$  الفرق في إرتفاع درجة الحرارة.

$F$  معامل تكبير يتوقع على حالة الجو ونوع المنشأ.

ويجب على المهندس إغلاق الفاصل من أعلى المبنى بحيث لا تتسرب مياه الأمطار إلى داخل المبنى.

يجب على المهندس الاهتمام جداً بفواصل التمدد للكبارى، والحرص على اختيار أفضل المواد لملء تلك الفواصل، وعمل صيانة دائمة له، وأى تلف في تلك الفواصل يُعرض المنشآت لتسرب ماء المطر، مما ينشر الرطوبة في المبنى ويعجل معدلات صدأ صلب تسليح المبنى، وشكل (4-20) يوضح ما يتعلق بفواصل التمدد.



شكل (4-20) شكل تخطيطى يوضح فواصل التمدد

#### 4-4 مرحلة الخرسانة الخضراء والمتصلدة:

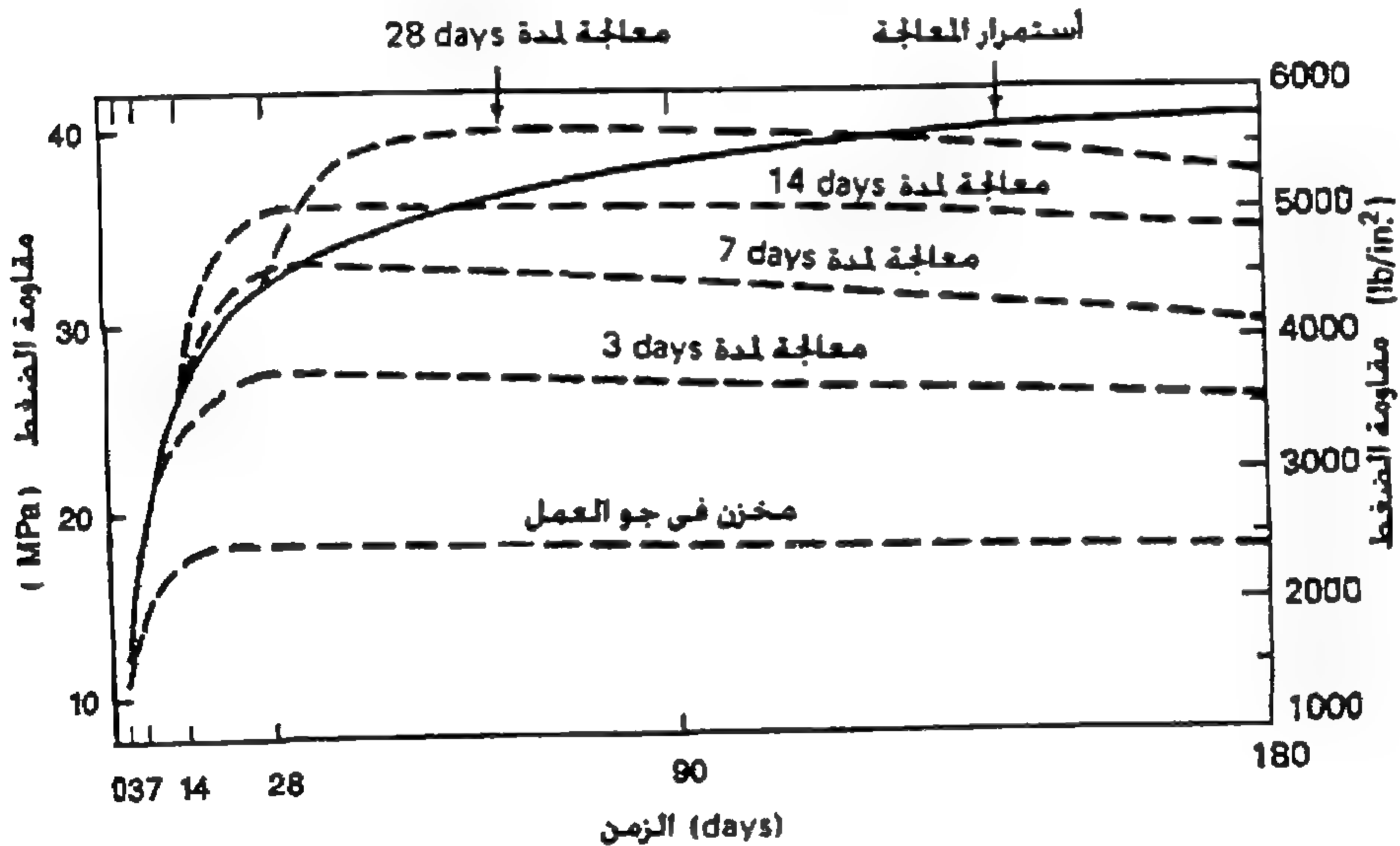
وتشمل عملية المعالجة وإزالة الفرم ومعالجة عيوب الصب.

##### 1-4-4 المعالجة:

بعد صب الخرسانة، تبدأ الخرسانة في الشك والتصلد، وتبدأ في فقد ماء نتيجة العوامل الجوية من ارتفاع درجة الحرارة ونقص في الرطوبة والرياح. ولتقليل وتأخير حدوث الإنكماش وبالتالي منع وإقلال شروخ الانكماش وتعويض الماء اللازم لتفاعل الأسمنت، يجب معالجة الخرسانة ويتم معالجة الخرسانة عن طريق:

- رش الخرسانة بالمياه.
- التغطية بالخيش أو الرمل المبلل.
- دهان الخرسانة بمادة عازلة؛ ويجب أن تحقق تلك المادة اشتراطات المواصفات القياسية لمنع تبخر المياه.
- المعالجة بالبخار؛ ويستخدم في مصانع الخرسانة سابقة التجهيز.

يوضح شكل (21-4) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة.



شكل (21-4) تأثير نوع المعالجة على العلاقة بين مقاومة الضغط و الزمن والشكل يوضح أن المعالجة تسبب تحسن مقاومة الضغط حتى لو لم تبدأ المعالجة مبكراً .

##### 2-4-4 إزالة الفرم:

يتم فك الشدة عندما تصل مقاومة الخرسانة إلى قيمة تمكن العضو الخرساني من تحمل الإجهادات الناشئة عن وزنه، أو أي أحمال ناتجة عن خطوات التشييد اللاحقة. ويجب التأكد من عدم حدوث ترخيم أو تشكّل كبير. ويمكن حساب الزمن الذي يمكن فك الشدات للقطاعات المعرضة لعزوم انحناء بالتقريب من المعادلات الآتية (طبقاً للكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية):



نوع الأسمنت	بورتلاندي سريع التصلد	بورتلاندي عادي
كمرات أو بلاطات	$t = L_B + 1$	$t = 2L_B + 2$
كابولي	$t = 2L_c + 1$	$t = 4L_c + 1$

حيث  $L_B$  بحر الكمره أو البلاطة و  $L_c$  بحر الكابولي،  $t$  قيم الزمن باليوم اللازم لفك الشدة.

يتم فك الشدة للأعضاء المعرضة للضغط مثل الأعمدة والحوائط بعد مرور 24 ساعة من الصب، ومن المهم التأكيد على أن يقوم المهندس باختبار شك الخرسانة يدوياً بعد مرور يوم من الصب عن طريق دق مسمار صلب بها للتأكد من شكها الظاهري وذلك في حالة عدم وجود عينات لاختبارها في مقاومة الضغط وكمثال لو سقف بحر كمراته 6 متر فيتم فك الشدات بعد 14 ، 7 أيام لو استخدم أسمنت بورتلاندي عادي أو أسمنت سريع التصلد على الترتيب .

#### 3-4-4 معالجة عيوب الصب:

بعد فك الشدات يجب على المهندس التفتيش على الخرسانة، ورصد عيوب الصب وترميمها؛ والتي تنحصر فيما يلي:

##### 1- حدوث تعشيش بالقطاعات الخرسانية:

وتعالج بواسطة النحت لإظهار مكان التعشيش وتنظيفها ورشها بالماء والمعالجة بمونة أسمنتية غنية (3 رمل خشن: 1 أسمنت + ماء كاف للتشغيل ويمكن استخدام إضافة لتحسين التشغيل).

##### 2- حدوث فجوات ذات حجم كبير:

- يتم النحت لتحديد مكان الفجوة وتنظيفها.
- يتم عمل قالب حول الفجوة.
- يتم تشبييع الخرسانة بالماء قبل الصب بـ 24 ساعة أو دهان الخرسانة بمادة لاحمة.
- يتم صب الفجوة بخرسانة من الزلط (مقاس اعتباري أكبر 8/3 بوصة) والرمل والأسمنت والماء ومادة ملدنة.

##### 3- حدوث بروز في الخرسانة عن القطاع المعماري:

يتم عمل جز لتلك الخرسانة إذا كانت خرسانة عادية، أما إذا كان البروز تبعه حركة في صلب التسليح، فإنه يجب تسوية السطح بإضافة طبقات إضافية مع استخدام تسليح لتلك الطبقات.

##### 4- ظهور حديد التسليح في بعض الأماكن:

يتم تنظيف حديد التسليح ورشه بخليط غني من الأسمنت والماء أو دهانه بإيبوكسي غني بالزنك. يتم عمل غطاء سمكه لا يقل عن 2 سم من مونة الأسمنت الغنية.



## الباب الخامس

### تصميم الخلطات الخرسانية (Concrete Mix Design)

#### 1-5 مقدمة:

المقصود بتصميم الخلطة الخرسانية ، هو تحديد مكونات الخلطة من رمال وركام كبير وأسمنت وماء وإضافة إن لزم الأمر. وهذه الخلطة يجب أن تحقق الخواص المرغوبة في كلا من الخرسانة الطازجة والخرسانة المتصلدة للمنشأ. وحيث أن الركام لا يلعب دوراً أساسياً في التأثير على مقاومة الخرسانة العادية الوزن ذات مقاومة ضغط مميزة أقل من 40 ن/مم<sup>2</sup>، وذلك بعكس الخرسانة الخفيفة أو الخرسانة الثقيلة، فإن مونة الأسمنت تلعب الدور الهام في هذا الأمر. ومن المعلوم أن المادة الفعالة عند إمالة الأسمنت والماء هي سيليكات الكالسيوم المماهة، وهي ناتجة عن إمالة كلا من ثالث وثاني سيليكات الكالسيوم، وهذه المادة يطلق عليها جل الأسمنت. وهي تتميز باللدونة في مرحلة الخرسانة الطازجة، وتتميز بكونها مادة شديدة الصلابة ثابتة كيميائياً في حالة الخرسانة المتصلدة. وهذه المادة تعمل أساساً على ربط جزيئات الخرسانة ببعضها ببعض. وكلما زاد تركيز جل الخرسانة، تحسنت جميع مقوماتها وتحسنت تحمليتها. ويمكن التعرف على توزيع الفراغات والجل داخل الخلطة الخرسانية بفحص عينة من الخرسانة، كما هو موضح بشكل (1-5).

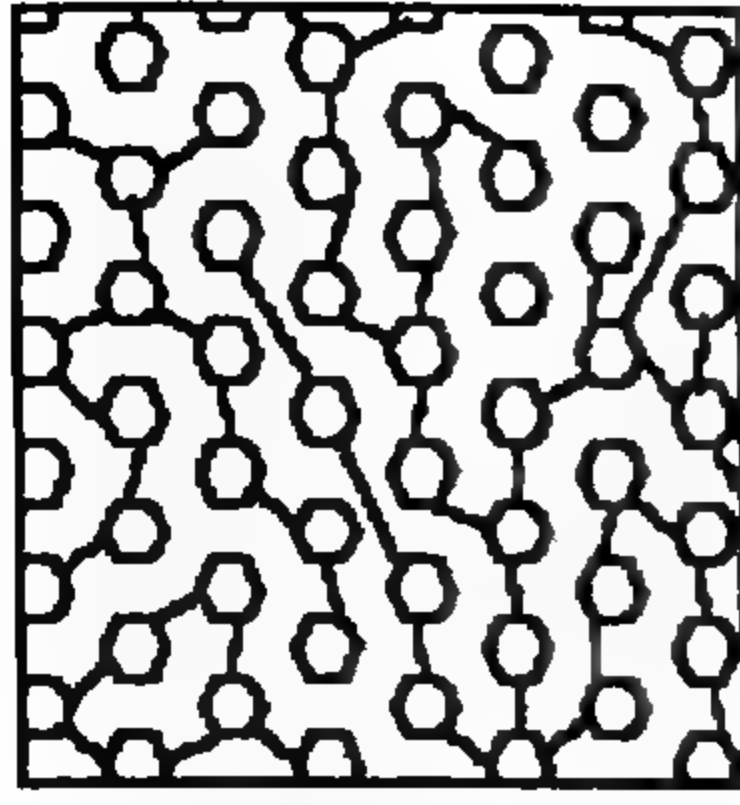
ومن الواضح من شكل (1-5 ب)؛ الذي يمثل توزيع الجل في حالة نسبة ماء إلى أسمنت مرتفعة، أن تركيز الجل قليل، وأن الفراغات بها نسبة عالية متصلة ببعضها. وفي حالة نسبة ماء إلى أسمنت منخفضة (مثل خلطة خرسانية بها نسبة الماء إلى الأسمنت = 0.4) من الواضح أن تركيز الجل فيها عالى، وأن الفراغات فيها أقل إتصالاً. وبناءً على ما سبق يتضح أهمية نسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطة الخرسانية؛ حيث كلما قلت تلك النسبة، يزيد تركيز المادة الجامدة وتقل نسبة الفراغات المنصولة، وعليه تتحسن مقاومة الضغط وتحملية الخرسانة، ويتضح ذلك من شكل (2-5) الذي يوضح العلاقة بين  $W/C$  ومقاومة الضغط لعدة دراسات سابقة.

وعلى هذا الأساس، استخدمت جميع الكودات العالمية نسبة الماء إلى الأسمنت كعامل أساسي؛ لتحقيق مقاومة الضغط المطلوبة وتحقيق تحميلية مطلوبة للمنشأ لكي يخدم بأمان خلال عمره الافتراضي.

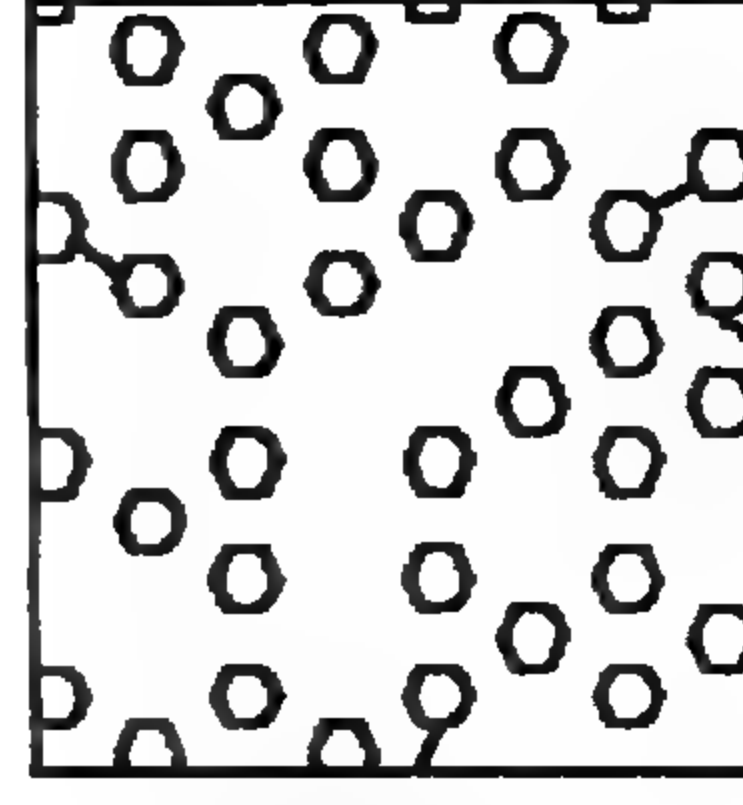
#### 2-5 العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة:

يمكن تلخيص العوامل تلك في الشكل (3-5) وتلك العوامل وتعتمد أساساً على خواص المواد المستخدمة في الخلطة وطريقة التنفيذ ونوع الدمك وخواص المنشأ من جهة قطاعاته وتسليحه ومتطلبات المنشأ من جهة الظروف المحيطة به ومقاومة الضغط التصميمية له ومستوى الشركة المنفذه .

## فراغات غير شعيرية فراغات شعيرية



خرسانة  
W/C=0.70  
C=400 Kg/m<sup>3</sup>

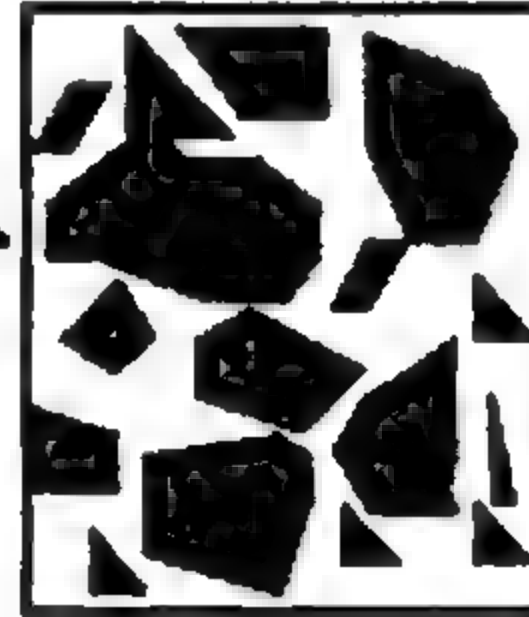


خرسانة  
W/C=0.40  
C=400 Kg/m<sup>3</sup>

W/C (water cement ratio)  
C (cement content)

شكل (1-5) زيادة نسبة الفراغات الشعيرية بزيادة W/C

نسبة الماء إلى  
الأسمنت منخفضة



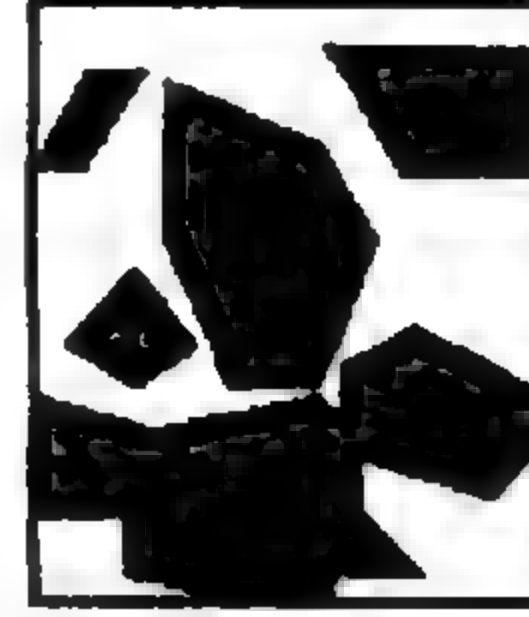
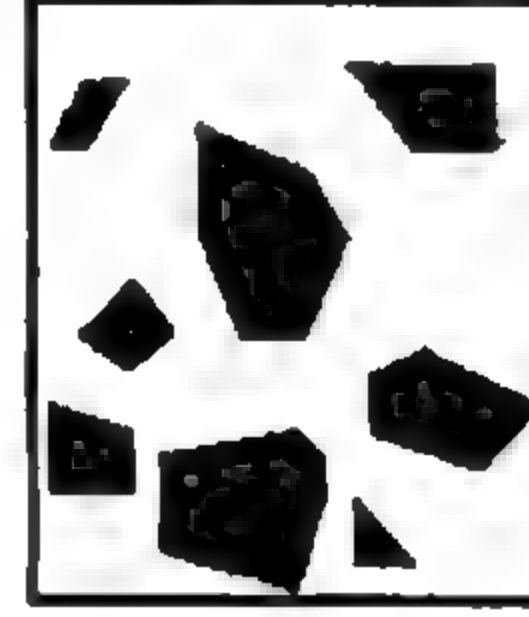
حببيات الأسمنت  
معلقة في الماء



أسمنت مماء  
بالكامل

إنفاذية قليلة  
=  
مقاومة عالية

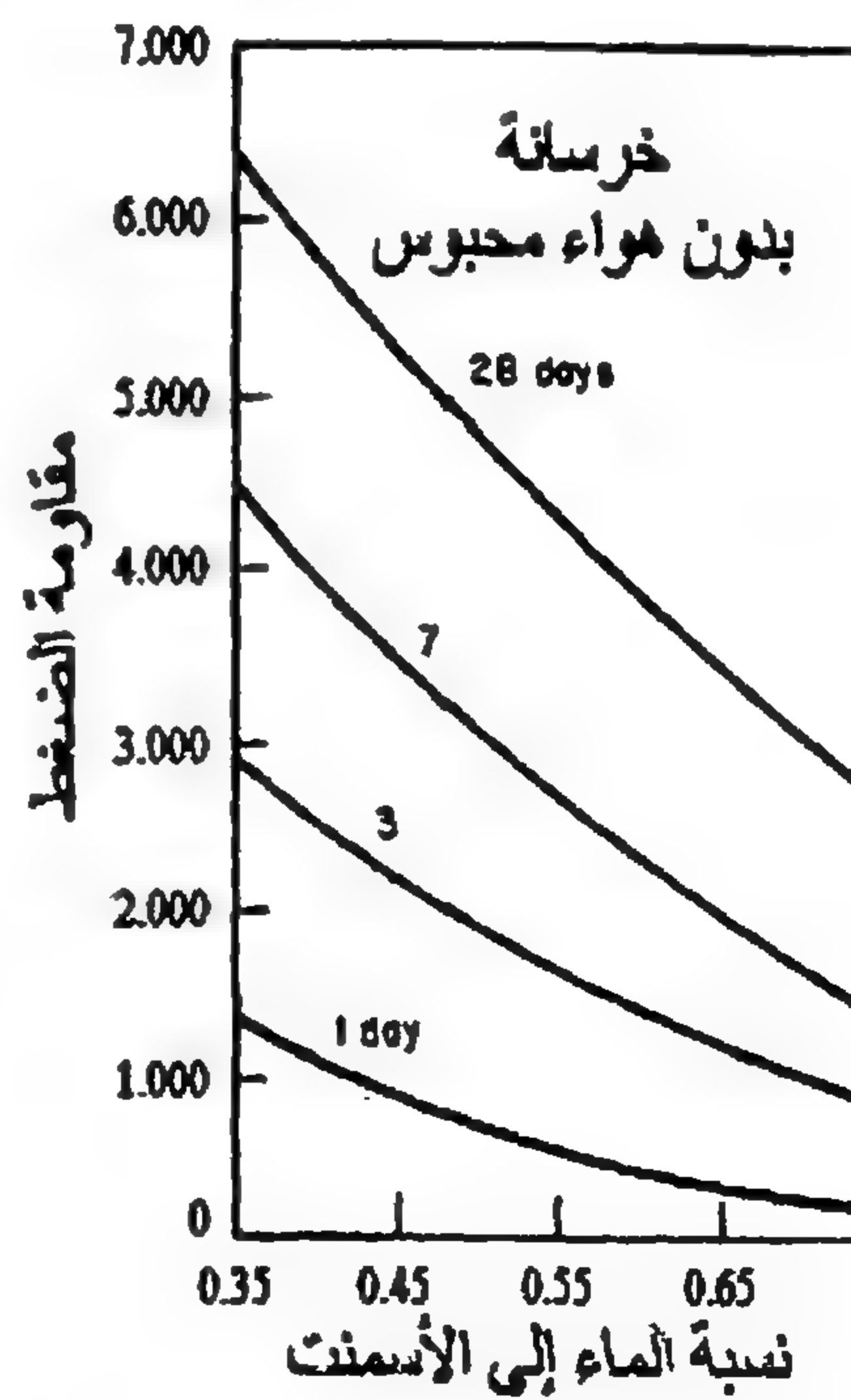
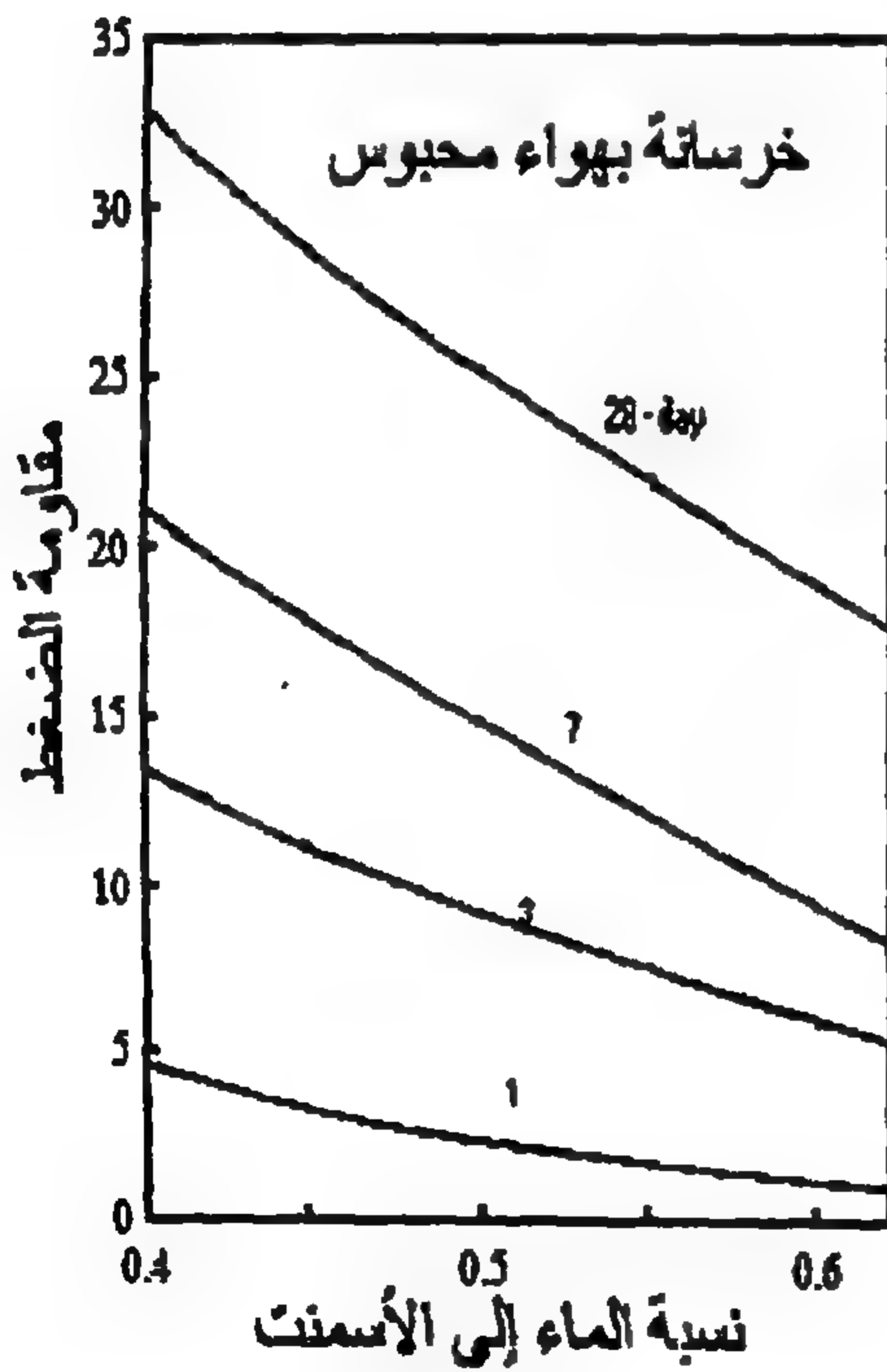
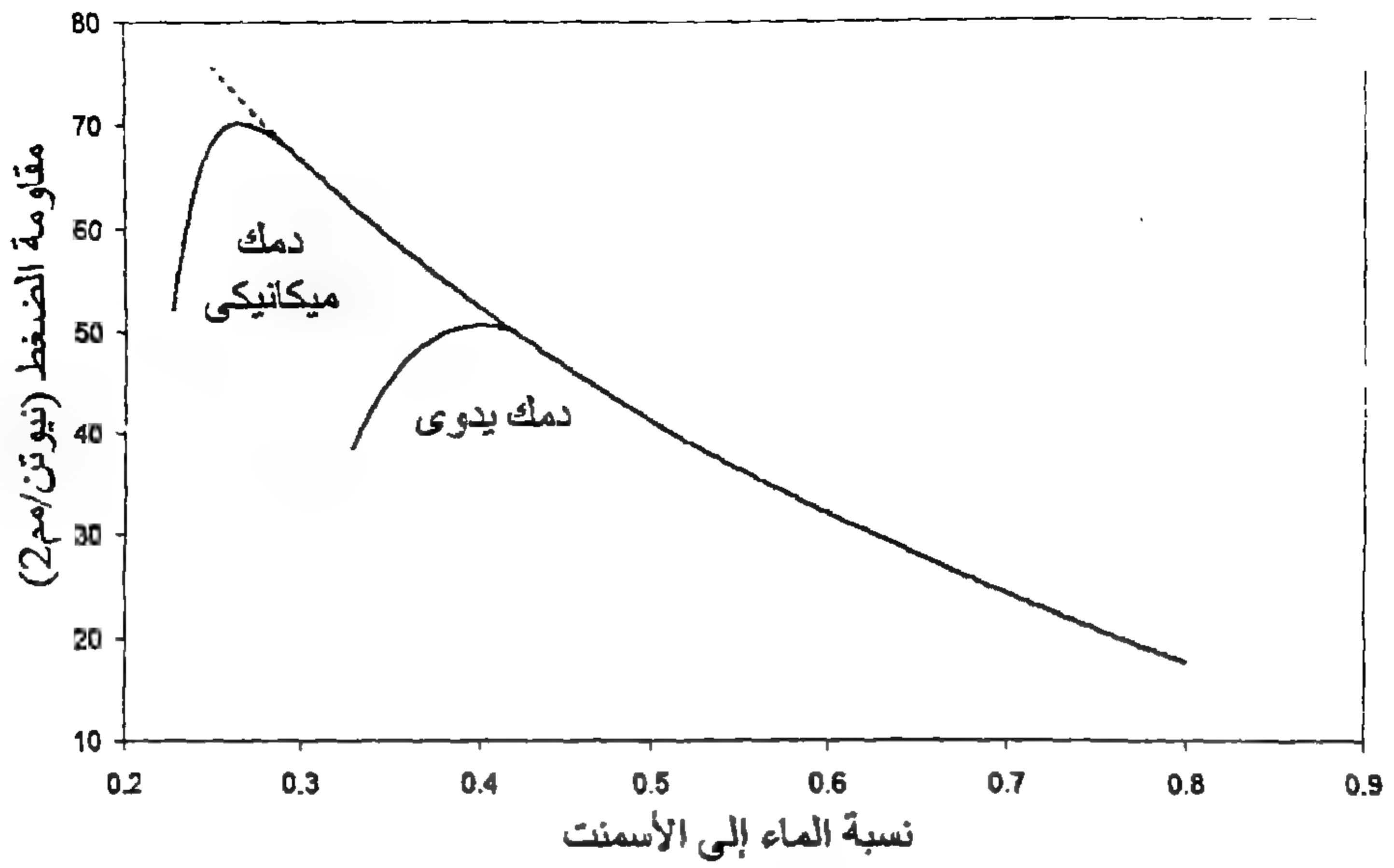
نسبة الماء إلى  
الأسمنت مرتفعة



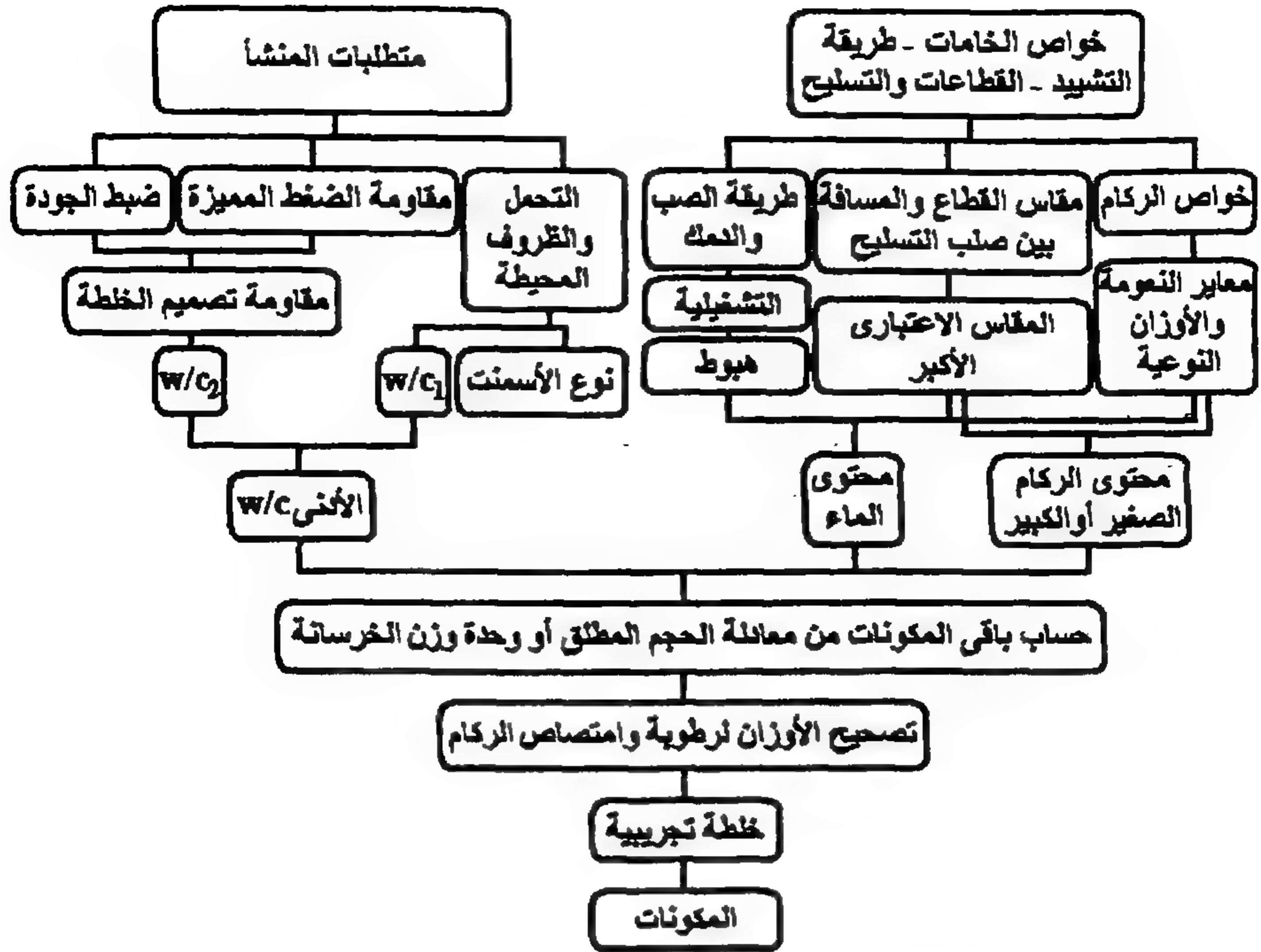
إنفاذية عالية  
=  
مقاومة قليلة

شكل (1-5) ب) زيادة الجل ونقص الإنفاذية بنقص نسبة الماء للأسمنت





شكل (5-2) علاقات مختلفة بين نسبة الماء إلى الأسمنت و مقاومة الضغط



شكل (3-5) العوامل المؤثرة على تصميم الخلطة .

## 1-2-5 تحديد المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية:

### Mean Strength or Mix Design Strength:

تتوقف قيمة المقاومة التصميمية للخلطة ( $F_m$ ) على المقاومة المميزة للخرسانة ( $F_{cu}$ )؛ والتي يقوم للمهندس باختيارها على أساس نوعية المنشأ المزمع إنشاؤه وأهميته، وكذلك على مستوى الشركة المنفذة وجودتها؛ وذلك على أساس نتائج للأعمال السابقة لها. ويظهر جودة تحكم الشركة في قيمة الانحراف المعياري ( $S$ ) للمقاومات، الذي يعبر عن مدى مستوى أعمالها. ويمكن حساب المقاومة المتوسطة أو المستهدفة باستخدام المعادلة الآتية:

$$F_m = F_{cu} + M$$

حيث  $M$  هو هامش الأمان (Margin).

ويعتمد معامل الأمان ( $M$ ) على مدى الاختلاف الذي يحدث أثناء تنفيذ المشروع؛ من اختلاف وتغير للمواد المستعملة وعدم وجود رقابة، وكذلك مقدار التغير الحادث أثناء أخذ العينات والاختبارات. ويمكن حساب معامل الأمان باستخدام المعادلة الآتية:

$$M = KS$$

حيث  $S$  الانحراف المعياري للمقاومات،

$K$  يعتمد على نسبة عدد الاختبارات التي من المتوقع أن تعطى مقاومة أقل من  $f_{cu}$ ، ويمكن تحديد قيمته من جدول (1-5).

جدول (1-5) قيم المعامل الإحصائي K

K	نسبة عدد الإختبارات التي من المتوقع أن تقل عن $F_{cu}$ بمقدار
2.33	1 %
1.64	5 %
1.28	10 %

والجدول السابق يوضح الاحتمالات المستخدمة في الكود المصرى والمواصفة البريطانية والألمانية، وسيتم تناول هذا الأمر بالتفصيل فى نهاية الباب.

### 3-5 طريقة تصميم الخلطة الخرسانية باستخدام طريقة معهد الخرسانة الأمريكى (ACI) :

يمكن تصميم الخلطة الخرسانية بناءً على تلك الطريقة التى تفترض أن حبيبات الركام مشبعة داخلياً تماماً بالماء ولكن سطحها جاف، تبعاً للخطوات التالية:

1. بناءً على نوع المنشأ تحدد مقاومة الضغط التصميمية للاسطوانة بعد 28 يوم، وهى المقاومة المطلوب تصميم قطاعات المنشأ عليها (المقاومة المميزة).

2. بناءً على الشركة المنفذة وجودة التحكم وطريقة التنفيذ المتبعة، نحدد مقاومة الخلطة التصميمية للخلطة (المقاومة المتوسطة)، وذلك بإضافة هامش أمان إلى المقاومة المميزة، ويتم تعيينه بالطريقة الموضحة لاحقاً فى ضبط الجودة.

3. بناءً على المحاجر القريبة نحدد نوع الركام الكبير، ونحدد المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير  $= 3^2$  المسافة الخالصة بين حديد التسليح و  $1^1$  البعد الأدنى فى القطاع الخرسانى ، ويوجد جدول تنص عليه ACI لحساب المقاس الإعتبارى الأكبر ولكنه غير مناسب للإستخدام فى مصر . ثم نحدد وحدة الوزن للركام الكبير (٧) والوزن النوعي لكلاً من الرمل والركام الكبير ( $G_{ss}$ ،  $G_{sg}$  على الترتيب).

4. يحدد قوام الخرسانة المناسب بناءً على نوع المنشأ ويتم تحديد الهبوط المستخدم، ومن المناسب كذلك أن يأخذ المصمم نوع طريقة الصب والتشديد فى الاعتبار، جدول (2-5).

5. بمعلومية المقاس الاعتبارى الأكبر للركام والقوام، نحدد كمية المياه باللتر/م<sup>3</sup> خرسانة (محتوي الماء = W) ، وذلك من جدول (3-5) ، سواء كانت الخرسانة بها هواء محبوس أم لا (الهواء المحبوس بمقاومة تكون ونوبان الثلج) ، وتحدد نسبة الهواء من نفس الجدول .

6. طبقاً للظروف المحيطة والعوامل الكيميائية وطريقة التشييد، نحدد نوع الأسمنت المستخدم.

7. نحدد نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) من جدول (4-5) بناءً على مقاومة الاسطوانة للضغط المتوسطة، ومن جدول (5-5) فى حالة تعرض المنشأ لمهاجمة بالكبريتات أو تعرضه لظروف أو مهاجمات أخرى غير مناسبة كما بجدول رقم (5-6) (شروط التحمل).

ويقوم المهندس باختيار نسبة الماء إلى الأسمنت الأقل التي تحقق شرط المقاومة وشرط التحمل ويختار نوع الأسمنت ومقاومة الضغط الدنيا. والمعادلة التالية تربط بين مقاومة ضغط الخرسانة للاسطوانة ( $F_{cy}$ ) ومقاومتها للمكعب  $F_{cu}$  بالجسم/سم<sup>2</sup>.

$$F_{cy} = (0.76 + 0.21 \log \frac{F_{cu}}{200}) F_{cu}$$

8. بمعرفة نسبة الماء إلى الأسمنت نحدد محتوى الأسمنت.

$$C = \frac{W}{W/C}$$

9. قامت هذه الطريقة بعمل دراسة معملية عن طريق المحاولة والخطأ؛ لتحديد حجم الركام الكبير بالمتر المكعب اللازم لإنتاج متر مكعب خرسانة في حالة استخدام رمال ذات معايير نعومة مختلفة، وذلك لأنواع المختلفة من الركام الكبير (ركام ذو مقاس اعتباري أكبر متغير)، وهذا موضح بالجدول (5-7). وعليه فإنه بمعلومية المقاس الاعتباري الأكبر للركام الكبير ومعايير نعومة الرمل المستخدم، نحدد حجم الركام الكبير ( $V_g$ ) بالمتر المكعب اللازم لإعطاء 1 م<sup>3</sup> من الخرسانة، جدول (5-7). ويلاحظ أنه كلما زاد المقاس الاعتباري الأكبر تزيد الحاجة للركام الكبير لزيادة نسبة الفراغات فيه. وبالمثل تزداد الحاجة للركام الكبير كلما قل معايير نعومة الرمال المستخدمة.

- نحدد حجم الركام الكبير للجامد بدون فراغات كما يلي:  
- يحدد وزن الركام الكبير ( $W_g$ ).

$$W_g = \gamma \cdot V_g$$

- يحدد الحجم الجامد للركام الكبير بدون فراغات ( $V_{gs}$ ) من المعادلة:

$$V_{gs} = \frac{W_g}{G_{sg}}$$

حيث $V_g$	حجم الركام بما فيه من فراغات.
$\gamma$	وحدة الوزن للركام الكبير.
$G_{sg}$	الوزن النوعي للركام الكبير.

10. يتم تحديد حجم الرمل الجامد المستخدم من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$W/1 + C/3.15 + V_{gs} + V_{ss} + A = 1$$

حيث $C$	وزن الأسمنت ووزنه النوعي - 3.15.
$W$	وزن الماء ووزنه النوعي - 1
$V_{gs}$	الحجم الجامد للركام الكبير.
$V_{ss}$	الحجم الجامد للرمال.
$A$	محتوى الهواء المحبوس.

ويلاحظ أن الطريقة السابقة تفترض أن أحجام المواد الجامدة للأسمنت والماء والرمل والركام الكبير والهواء المحبوس عرضاً بعد الدمك تعطى 1 م<sup>3</sup> خرسانة.



11. يتم تحديد وزن الرمل ( $W_s$ ) بمعلومية حجمه الجامد؛  $V_{ss} \cdot G_{ss} = (W_s)$ ، وبالتالي يمكننا تحديد مكونات الخلطة التجريبية من محتوى ماء وركام كبير وركام صغير وأسمنت.

12. يجب عمل خلطات تجريبية وقياس الهبوط ووحدة الوزن ومقاومة الضغط في زمن مبكر وبعد 28 يوم. وإن وجد هناك اختلاف في وحدة الوزن، فيجب ضبط نسب الخلط وكذلك الهبوط. ويمكن عن طريق هذه النسب المعدلة تحديد كلا من الحصيلة ومعامل الأسمنت.

13. يتم عن طريق معرفة سعة الخلطة المستخدمة تصميم العبوات.

14. يجب عمل خلطات في الموقع وقياس الهبوط وتحديد مقاومة الضغط في ظروف الموقع.

• ملاحظات:

- يجب تعديل نسب الخلط على أساس نسبة الرطوبة الموجودة بالركام، وكذلك نسبة امتصاص الركام للمياه. فإذا احتوى الركام على رطوبة حرة قيمتها  $m\%$  من وزن الركام الجاف، فيمكن إيجاد كمية المياه الموجودة في الركام ( $X$ ) من المعادلة الآتية:

$$m/100 = \frac{X}{A - X}$$

$$X = A \frac{m}{100 + m}$$

حيث  $A$  هي وزن الركام في صورته الطبيعية و  $X$  هي كمية المياه.

ويكون وزن الركام المصحح ( $A'$ ) كما يلي:

$$A' = A + X$$

ويكون محتوى الماء  $W'$

$$W' = W - X$$

- أما إذا كان للركام الجاف ( $A$ ) نسبة امتصاص ( $n$ )، فيمكن حساب كمية المياه الممتصة ( $X_a$ ).

$$X_a = A \frac{n}{100}$$

وتضاف هذه القيمة إلى وزن الماء، فيصبح وزن الماء المصحح ( $W'$ ).

$$W' = W - X$$

ومن المهم التنبيه أنه يجب إضافة وزن الماء الممتص إلى كثافة الخرسانة النظرية.

جدول (2-5) الهبوط الموصى به للمنشآت المختلفة

الهبوط (سم)		المنشأ
أقصى	أدنى	— حوائط الأساسات المسلحة والأساسات والقيسونات — الكمرات وللحوائط المسلحة . — الأعمدة . — بلاطات الرصيف والبلاطات المسلحة . — خرسانة كتلية .
7.5	2.5	
7.5	2.5	
10	2.5	
10	2.5	
5	2.5	

جدول (3-5) محتوى الماء التقريبي بالكجم للمتر المكعب، وكذلك محتوى الهواء المحبوس\*

الهبوط (سم)							المقاس الاعتباري الأكبر للركام مع
10	12.5	20	25	40	50	70	
خرسانة بدون هواء محبوس							
205	200	185	180	160	155	145	5-2.5
225	215	200	195	175	170	160	10-7.5
240	230	210	205	185	180	170	18-15
3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.30	نسبة الهواء
خرسانة ذات هواء محبوس							
180	175	165	160	145	140	135	5-2.5
200	190	180	175	160	155	150	10-7.5
215	205	190	185	170	165	160	18-15
6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	نسبة الهواء المحبوس
بجو متوسط							القساوة

\* قيم محتوى الماء موضوعه لركام مكسر ويجب تخفيض 18 كجم عند استخدام ركام دائري

جدول (4-5) يبين مقاومة ضغط الاسطوانة بعد 28 يوم ونسبة الماء إلى الأسمنت

مقاومة للضغط كجم/سم <sup>2</sup>		نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن
		خرسانة بدون هواء
		خرسانة ذات هواء محبوس
450	0.37	—
400	0.42	—
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.80	0.71

جدول (5-5) متطلبات تحمل خرسانة تتعرض لمهاجمة الكبريتات.

المقاومة الدنيا (N/mm <sup>2</sup> )	W/C	نوع الأسمنت	SO <sub>4</sub> في الماء (جزء في المليون)	المهاجمة بالكبريتات
—	—	—	0<SO <sub>4</sub> <150	مهملة
28	0.50	بورتلاندى مخلوط أسمنت معدل	150<SO <sub>4</sub> <1500	متوسطة
31	0.45	أسمنت مقاوم للكبريتات	1500<SO <sub>4</sub> <10000	قاسية
31	0.45	أسمنت مقاوم للكبريتات + مادة بوزولانية	SO <sub>4</sub> >10000	قاسية جداً

المادة البوزولانية يجب أن يثبت بالاختبار أنها تحسن من مقاومة الكبريتات.

جدول (6-5) متطلبات التعرض لحالات خاصة.

المقاومة الدنيا (N/mm <sup>2</sup> )	W/C	حالة التعرض
28	0.5	خرسانة ذات نفاذية قليلة عند تعرضها للماء
31	0.45	الخرسانة المعرضة للتليج و الذوبان
35	0.45	للحمايو من صدا صلب التسليح للخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكلوريدات قبل ماء البحر أو الماء المالح

جدول (7-5) حجم الركام الكبير (م<sup>3</sup>) لإنتاج 1م<sup>3</sup> خرسانة من الخرسانة ذات القوام اللدن

معيار المرونة		النوعية		المقاس الاعتبارى الأكبر مم
3.00	2.80	2.60	2.40	
0.44	0.46	0.48	0.50	10
0.53	0.55	0.57	0.59	12.5
0.60	0.62	0.64	0.66	20
0.65	0.67	0.69	0.71	25
0.70	0.72	0.74	0.76	40
0.72	0.74	0.76	0.78	50
0.76	0.78	0.80	0.82	75
0.81	0.83	0.85	0.87	150

## 4-5 تصميم الخلطات ذات المقاومة العالية ( Design of High Strength Concrete ):

### 4-5-1 مقدمة:

أصبحت الخرسانة العالية المقاومة في العقدین الآخرین تستخدم بكثرة فی الكباری سابقة الإجهاد، وكذلك فی المنشآت العالية والمنشآت البحرية. وتعتبر المقامات الأعلى من 400 كجم/سم<sup>2</sup> خرسانات ذات مقاومة عالية. ولقد تم حالياً إنتاج خرسانات ذات مقاومة أعلى من 1000 كجم/سم<sup>2</sup>؛ ويطلق عليها الخرسانة فائقة المقاومة ( Ultra High Strength). والخرسانة ذات المقاومة العالية هي خرسانة تحتاج إلى معالجة خاصة مثل البخار، أو تحتاج لإضافات خاصة، وهي تحتاج لأسس وضعية لتصميم خلطاتها. ويمكن الوصول لتلك المقاومة بركام جيد وبنسب مرتفعة من الأسمنت، مع تشغيلية ليست عالية. وهناك اتجاه حديث لتخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام مواد عالية التلدين (Super Plasticizers)، مع استخدام إضافات خاصة مثل Silica Fume. وسنعرض فيما يلي إحدى الطرق التقليدية لتصميم تلك الخلطات. وقامت تلك الطريقة على اختبارات ودراسات عملية وضعية قام بها كلاً من نتروى وشكوك. وتعتمد أساساً على استخدام ركام شامل به 30% من الرمال. وبالتالي أصبح محتوى الركام مجهول واحد وليس مجهولين ويمكن استخدام منحنيات تدرج قياسية. وقام الباحثين بربط مقاومة الضغط بنسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام رقم اعتباري معين، ثم يلي اعطاء جداول تعطى نسبة الركام الشامل إلى الأسمنت. ويمكن تفصيل ذلك فيما يلي:

### 1- تحديد درجة التشغيلية:

قام الباحثان بوضع الجدول رقم ( 5-8 ) لكي يتم تحديد درجة التشغيلية المطلوبة على أساسه.

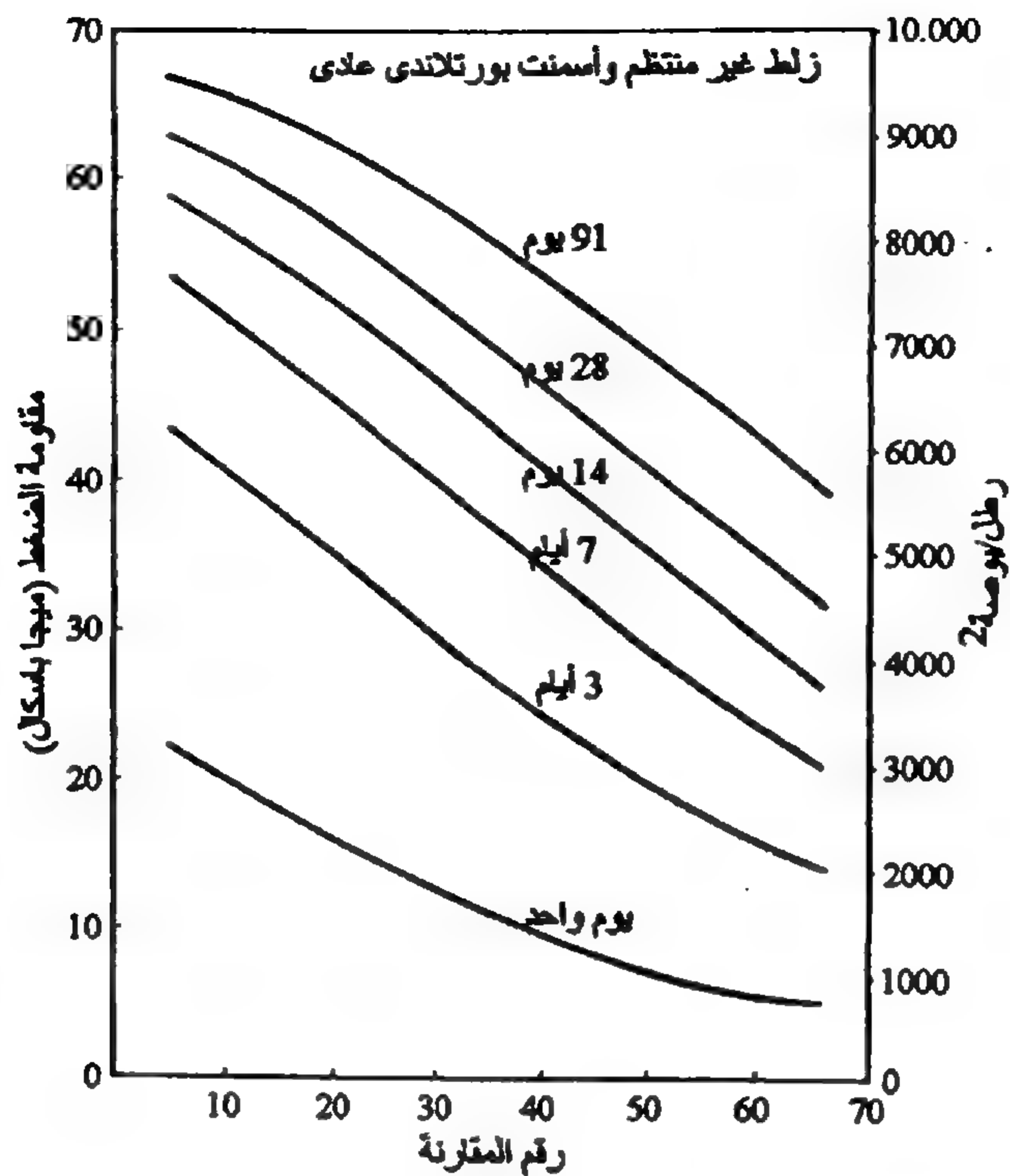
جدول (5-8) خواص الخرسانة الطازجة للخرسانة عالية المقاومة

معامل الدمك	درجة التشغيلية	هبوط عالية سم	حالة المنشأ والدمك
0.65	منخفضة إلى أقصى درجة	صفر	هزازات خارجية أو ضغط خارجي
0.75	منخفضة جداً	صفر - 3	الهز والدمك الشديد
0.83	منخفضة	0.30 - 0.60	قطاعات الخرسانة المسلحة واستخدام دمك
0.90	متوسطة	0.60 - 2.5	قطاعات شديدة التسليح مع الدمك
0.95	عالية	2.5 - 10	قطاعات شديدة التسليح أو دمك يدوي

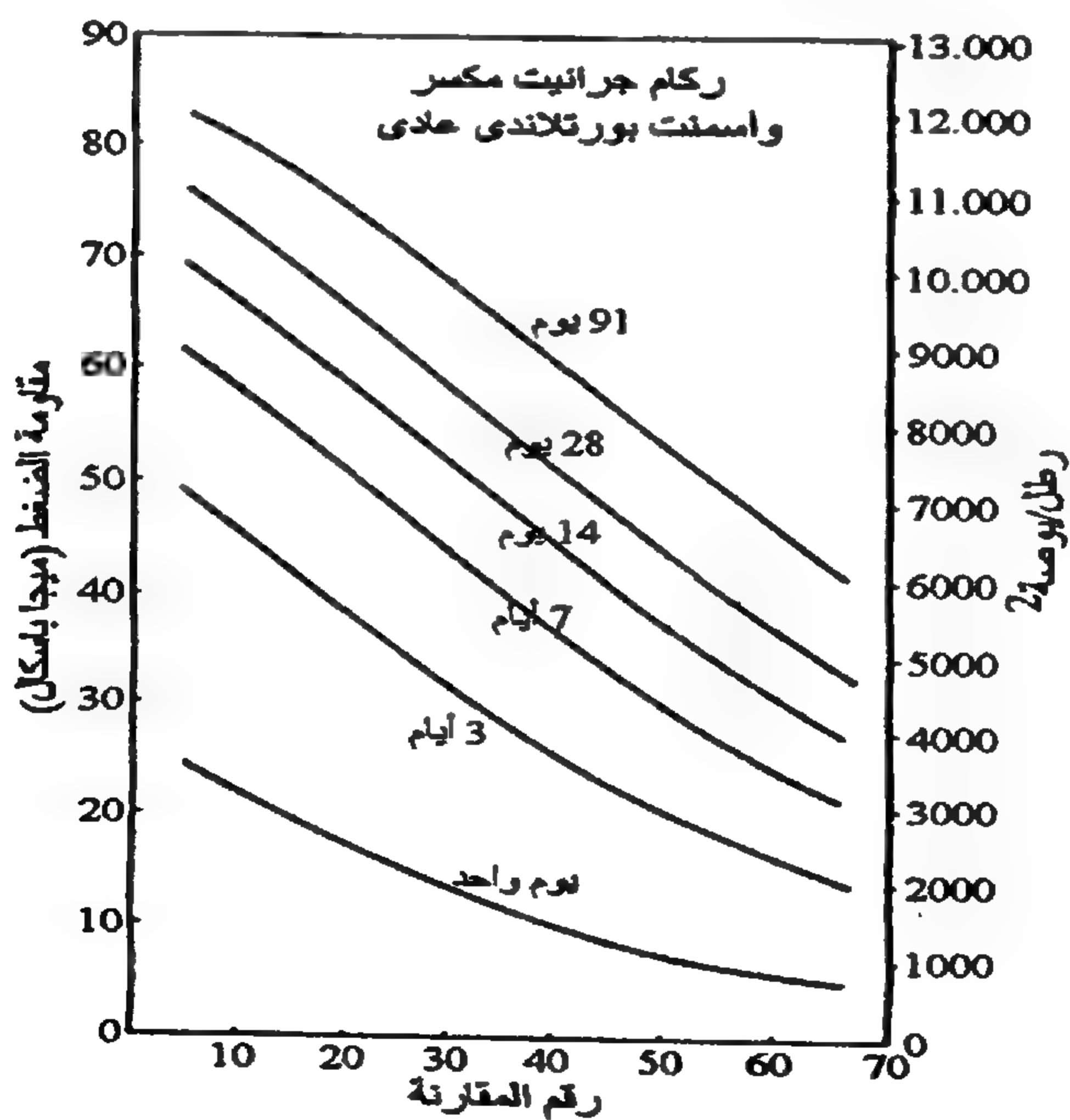
### 2- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

#### أ- تحديد رقم المقارنة:

يتم تحديد المقاومة الدنيا للمنشأ، ومنها يحدد المقاومة المتوسطة. قام الباحثان بدراسة عملية للعلاقة بين نسبة الماء إلى الأسمنت ومقاومة ضغط الخرسانة. ونظراً للمدى المحدود للدراسة، فقد تم الاستعانة بمقياس مكبر أطلق عليه رقم اعتباري أو رقم مقارنه (Reference Number). وبذلك تم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط والرقم الاعتباري، بدلاً من مقاومة الضغط ونسبة الماء إلى الأسمنت. والأشكال (4-5 حتى 7-5) توضح تلك العلاقة التي تم رسمها لأسمنت بورتلاندي عادي وأسمنت سريع التصلد، وكذلك لنوعين من الركام الكبير (زلط غير منتظم وكسر جرانيت).

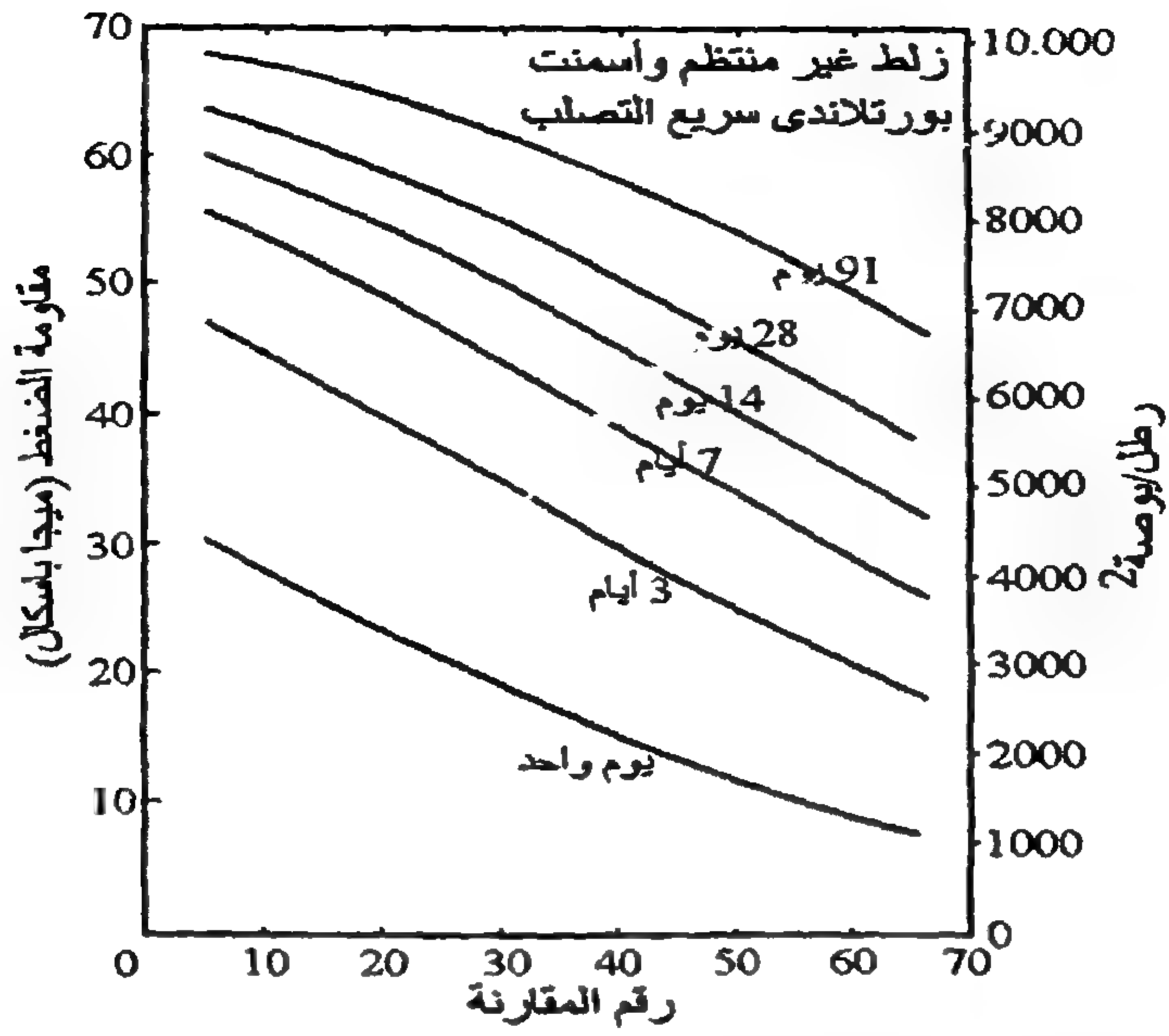


شكل (4-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

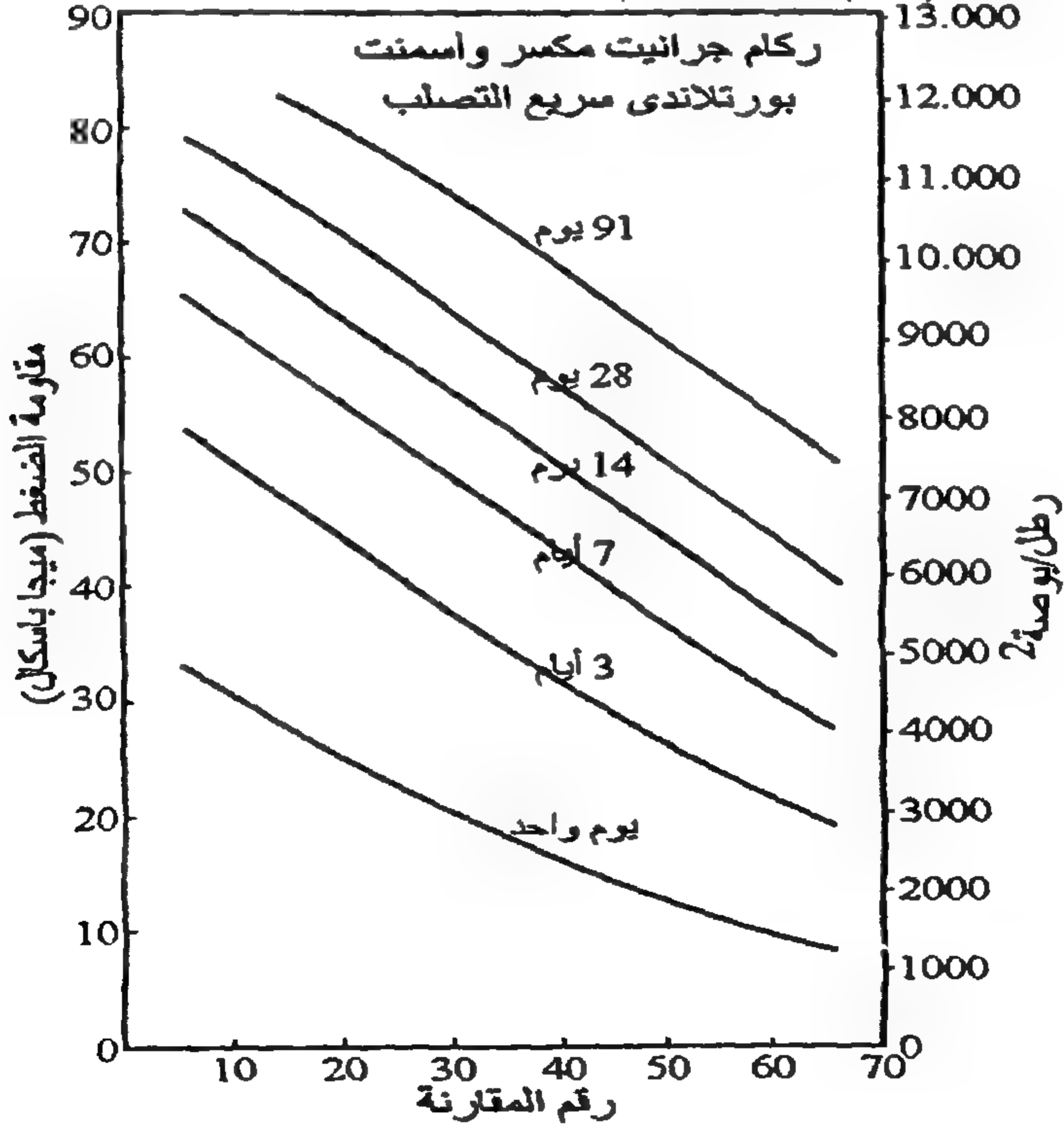


شكل (5-5) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة





شكل (5-6) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

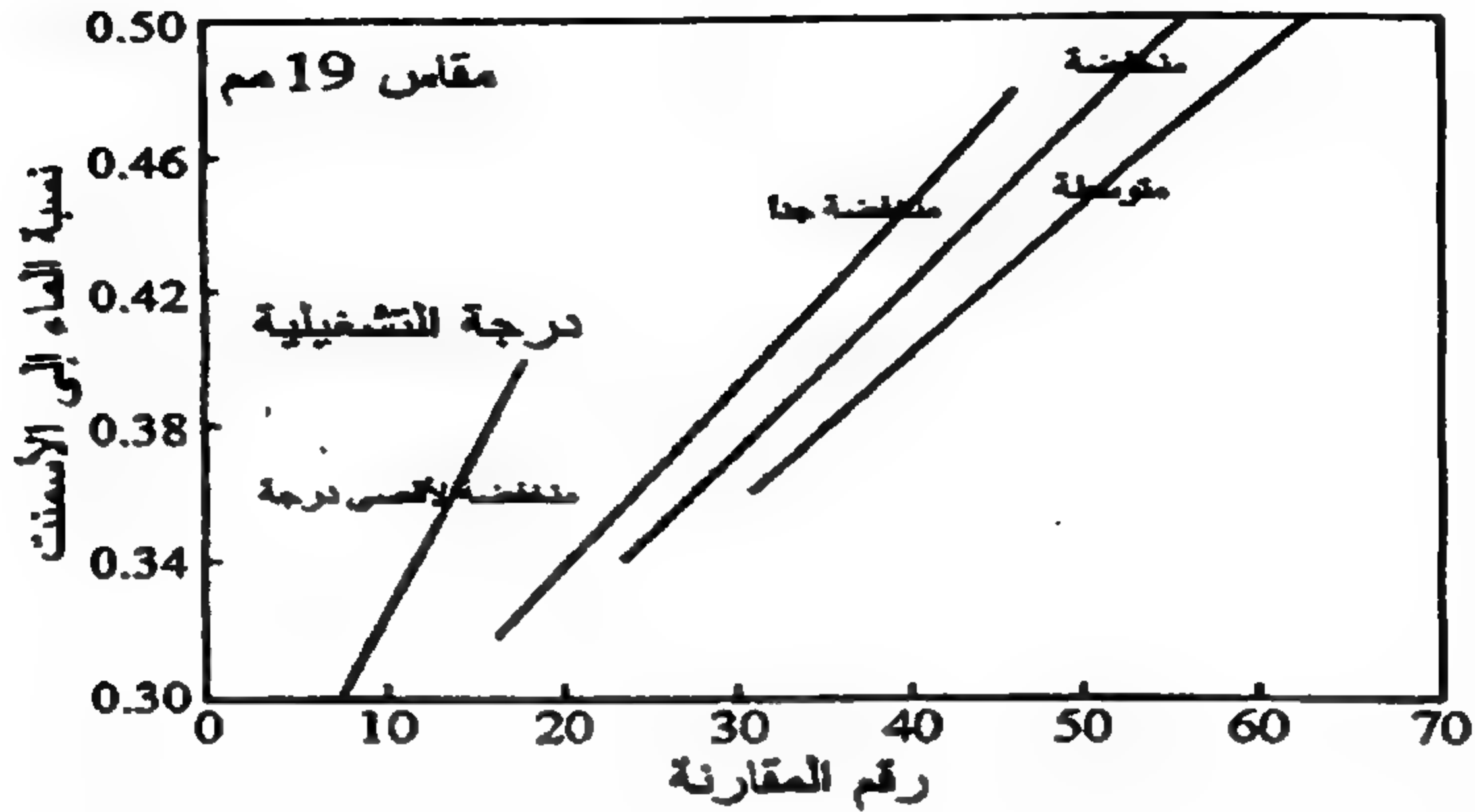


شكل (5-7) العلاقة بين رقم المقارنة ومقاومة الضغط لأعمار مختلفة

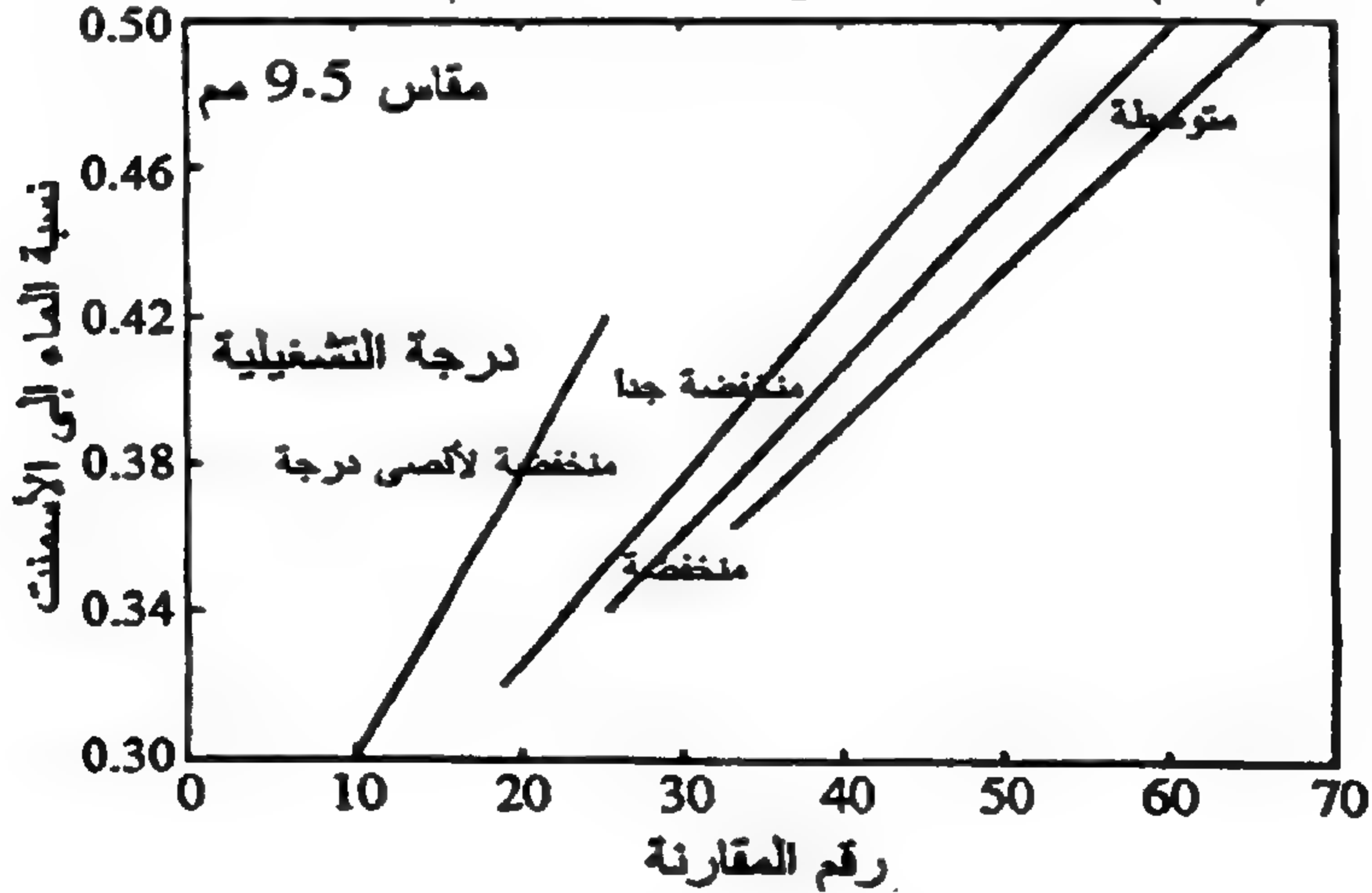
بناءً على ما سبق، يقوم المهندس بتحديد الرقم الاعتباري (رقم المقارنة) المناظر للمقاومة المطلوبة عند عمر معين.

ب- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت:

يتم تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت عن طريق استخدام الشكلان (5-8 ، 5-9)، وفيهما علاقة بين الرقم الاعتباري (R.N) ونسبة الماء إلى الأسمنت لدرجات تشغيلية مختلفة بين تشغيلية منخفضة إلى أقصى درجة وتشغيلية متوسطة، وذلك لركام ذي مقاس اعتباري أكبر  $4^3$ ،  $8^3$  بوصة على الترتيب.



شكل (5-8) تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية



شكل (5-9) تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت بدلالة رقم المقارنة ودرجة التشغيلية

3- تحديد نسبة الركام الشامل (Ag):

قام الباحثان عملياً بحساب نسبة الركام الشامل إلى الأسمنت (Ag/C)، ودرجات التشغيلية المختلفة والنوعين المستخدمين من الركام الكبير، ولمقاس من الركام  $4^3$ ،  $8^3$  وللأسمنت البورتلاندي العادي والأسمنت سريع التصلب. وتم تلخيص ذلك في الجداول أرقام (5-9 ، 5-10 ، 5-11 ، 5-12) وعن طريق تلك الجداول نحدد نسبة W/C .

4- حساب محتوى الأسمنت باستخدام نسبة الماء إلى الأسمنت ونسب الركام إلى الأسمنت وباقي المحتويات من معادلة الحجم المطلق التالية:

$$\frac{Ag}{G_s} + \frac{C}{3.15} + \frac{W}{1} = 1$$

حيث فرض أن الهواء المحبوس = صفر.

C وزن الأسمنت.

W وزن الماء.

G<sub>s</sub> الوزن النوعي للركام الشامل.

بالقسمة على وزن الأسمنت C في المعادلة السابقة:

$$\frac{Ag}{C G_s} + \frac{1}{3.15} + \frac{W}{C} = \frac{1}{C}$$

ومنها يتم إيجاد وزن الأسمنت (C).

— بمعلومية Ag / C نوجد وزن الركام الشامل / م<sup>3</sup> خرسانة.

— بمعلومية W/C نوجد وزن الماء / م<sup>3</sup> خرسانة.

ويتم عمل خلطة تجريبية وتحديد مقاومة الضغط لها ومعامل الدمك ووحدة الوزن مع عمل التصحيحات اللازمة. ويمكن استخدام الجداول ( 5-13 ، 5-14 ، 5-15 ) للحصول على نسبة الخلط التي تحقق التدرجات القياسية.

جدول (5-9) نسبة الركام إلى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 38.1 مم

درجة التشغيلية				منخفضة جداً				منخفضة				متوسطة				عالية			
رقم منطقة التدرج				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
نسبة الماء للأسمنت	0.35	4.0	3.9	3.5	3.2	3.2	3.4	3.4	3.3	3.2	2.9	2.9	2.8	2.6	2.5	2.7	2.5	2.3	2.3
	0.40	5.3	5.3	5.3	4.7	4.3	4.5	4.5	4.2	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.4	3.5	3.3	3.1	3.1
	0.45	6.5	6.5	6.5	5.9	5.3	5.6	5.6	5.3	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	4.3	4.4	4.3	4.0	4.0
	0.50	7.7	7.7	7.7	7.1	6.3	6.6	6.7	6.3	5.7	5.4	5.4	5.4	5.5	5.1	5.2	5.1	4.8	4.8
	0.55	-	-	-	8.1	7.3	7.6	7.6	7.2	6.6	6.2	6.2	6.2	6.3	5.8	5.9	6.0	5.5	5.5
	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	7.4	7.0	7.0	7.0	7.1	6.6	6.7	6.7	6.2	6.2
	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-	8.1	7.8	7.8	7.8	7.8	7.2	7.3	7.3	6.9	6.9
	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	-	-	7.4	7.4
	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	8.0
	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول (5-10) نسبة الركام الى الأسمنت لركام منتظم (زلط) مقاسة 19.05 مم

درجة التشغيلية		منخفضة جداً				منخفضة				متوسطة				عالية			
رقم منطقة التدرج		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
نسبة الماء للأسمنت	0.35	4.5	4.5	3.5	3.2	3.8	3.6	3.2	3.1	3.1	3.0	2.8	2.7	2.8	2.8	2.6	2.5
	0.40	6.6	6.3	5.3	4.5	5.3	5.1	4.5	4.1	4.2	4.2	3.9	3.7	3.6	3.7	3.5	3.3
	0.45	8.0	7.7	6.7	5.8	6.9	6.6	5.9	5.1	5.3	5.3	5.0	4.5	4.6	4.8	4.5	4.1
	0.50	-	-	8.0	7.0	8.2	8.0	7.0	6.0	6.3	6.3	5.9	5.4	5.5	5.7	5.3	4.8
	0.55	-	-	-	8.1	-	-	8.2	6.9	7.3	7.3	7.4	6.4	6.3	6.5	6.1	5.5
	0.60	-	-	-	-	-	-	7.7	7.2	-	-	8.0	7.2	*	7.2	6.8	6.1
	0.65	-	-	-	-	-	-	8.5	7.8	-	-	-	7.8	*	7.7	7.4	6.6
	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	7.9	7.2
	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول (5-11) نسبة الركام الى الأسمنت لركام مكسر مقاسة 38.1 مم

درجة التشغيلية				منخفضة جدا				منخفضة				متوسطة				عالية			
رقم منطقة التدرج				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
نسبة الماء للأسمنت	0.35	3.7	3.7	3.0	3.5	3.7	3.0	3.0	3.0	3.0	2.7	2.6	2.6	2.7	2.4	2.4	2.5	2.5	2.2
	0.40	4.8	4.7	4.7	4.0	4.7	4.0	3.9	3.9	3.5	3.8	3.3	3.4	3.5	3.2	3.1	3.2	3.2	2.9
	0.45	6.0	5.8	5.7	5.0	5.7	5.0	4.8	4.8	4.6	4.3	4.0	4.1	4.2	3.9	*	3.9	3.9	3.5
	0.50	7.2	6.8	6.5	5.9	6.5	5.9	5.5	5.5	5.0	5.4	4.6	4.8	4.8	4.5	*	4.4	4.4	4.1
	0.55	8.3	7.8	7.3	6.7	7.3	6.7	6.2	6.2	5.7	6.0	*	5.4	5.4	5.1	*	4.8	4.9	4.7
	0.60	9.4	8.6	8.0	7.4	8.0	7.4	6.8	6.8	6.2	6.7	*	6.0	6.0	5.6	*	*	5.4	5.2
	0.65	-	-	-	8.0	-	-	7.4	7.4	6.8	7.3	*	*	6.4	6.1	*	*	5.8	5.6
	0.70	-	-	-	-	-	-	8.0	8.0	7.4	7.7	*	*	6.7	6.6	*	*	6.2	6.1
	0.75	-	-	-	-	-	-	7.9	-	7.9	-	*	*	7.2	7.0	*	*	6.6	6.5
	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	7.5	7.4	*	*	*	7.0
	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	7.8	7.8	*	*	*	7.4
	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	8.1	*	*	*	7.7
	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	-	*	*	*	8.0
	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	*	*



جدول (5 - 12) نسبة الركام الى الأسمنت لركام مكسر مقاسة 19.05 مم

درجة التشغيلية				منخفضة جدا				منخفضة				متوسطة				عالية			
رقم منطقة التدرج				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
نسبة الماء للأسمنت	0.35	3.2	3.0	2.9	2.7					2.7	2.5	2.7	2.7	2.4	2.2	2.2	2.3	2.1	2.1
	0.40	4.5	4.2	3.7	3.5	3.0	3.2	3.5	3.5	3.0	3.2	3.1	3.1	2.7	2.9	2.9	2.8	2.6	2.6
	0.45	5.5	5.0	4.6	4.3	4.3	3.9	4.2	4.3	3.7	3.9	3.7	3.7	3.3	3.4	3.5	3.5	3.1	3.1
	0.50	6.5	5.8	5.4	5.0	4.3	4.5	4.9	5.0	4.3	4.5	4.2	4.2	3.8	3.9	3.9	3.8	3.5	3.5
	0.55	7.2	6.6	6.0	5.6	4.8	5.0	5.4	5.7	4.8	5.0	4.7	4.7	4.3	4.5	*	4.3	4.0	4.0
	0.60	7.8	7.2	6.6	6.3	5.3	5.6	6.0	6.3	4.8	4.9	5.2	*	4.8	4.9	*	4.7	4.4	4.4
	0.65	8.3	7.8	7.2	6.9	5.8	6.1	6.5	6.9	5.2	5.4	5.7	*	5.2	5.4	*	5.1	4.9	4.9
	0.70	8.7	8.3	7.7	7.5	6.3	6.5	7.0	7.4	5.7	5.8	6.2	*	5.7	5.8	*	5.5	5.3	5.3
	0.75	-	-	-	8.0	6.8	7.0	7.5	7.9	6.1	6.2	*	*	6.1	6.2	*	5.8	5.7	5.7
	0.80	-	-	-	-	7.2	7.4	-	-	6.5	6.6	*	*	6.5	6.6	*	6.1	6.0	6.0
	0.85	-	-	-	-	7.6	7.8	-	-	6.9	7.1	*	*	6.9	7.1	*	6.4	6.3	6.3
	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	7.5	*	*	7.3	7.5	*	*	6.7	6.7
	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	8.0	*	*	7.6	8.0	*	*	7.0	7.0
	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	7.3

جدول (5- 13) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 38.1مم (هيئة الطرق الأمريكيه مذكروه رقم 4) لأربعة مناطق تدرج

مقاس المنخل	1.5	4/3	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	50	35	23	19	12	8	2	1
2	100	60	43	33	25	17	12	7	2
3	100	68	52	40	32	24	17	10	3
4	100	75	60	46	37	30	25	15	5

جدول (5- 14) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 19 مم (هيئة الطرق الأمريكيه - مذكروه رقم 4)

مقاس المنخل	4/3	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	35	29	21	15	8	1	صفر
2	100	55	33	28	20	14	2	1
3	100	64	41	35	28	21	5	2
4	100	75	48	41	34	28	11	3

جدول (5- 15) حدود التدرج لركام شامل مقاسه 9.52مم (هيئة الطرق الأمريكيه - مذكروه رقم 4)

مقاس المنخل	8/3	4	8	16	30	50	100
1	100	30	20	17	13	5	1
2	100	45	33	27	19	8	3
3	100	60	46	37	28	14	5
4	100	75	60	46	34	20	7

## 5-5 تصميم الخلطة الخرسانية بالطريقة البريطانية:

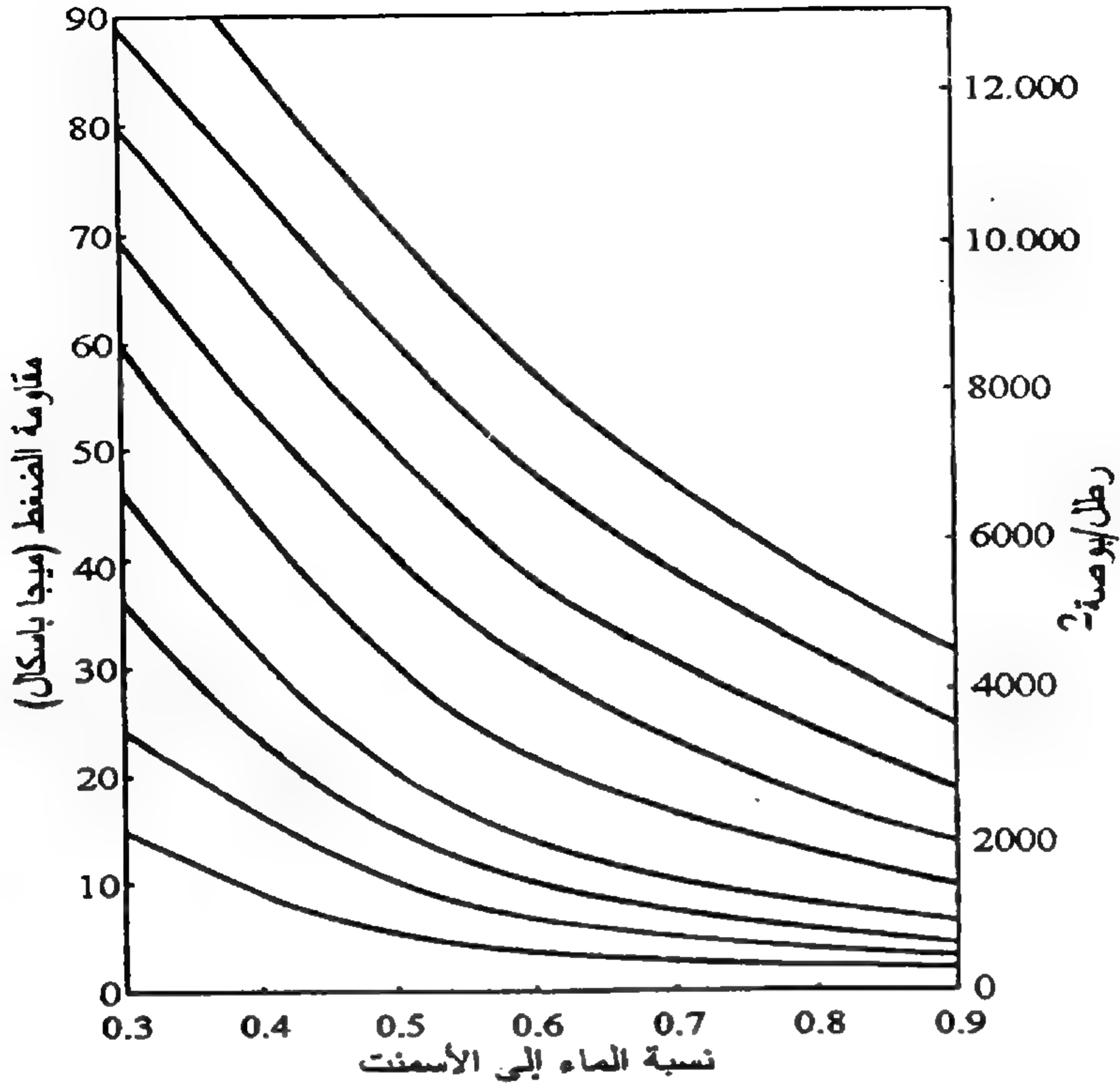
تستخدم هذه الطريقة على مجال واسع في المملكة المتحدة. وتعتمد هذه الطريقة على مجموعة من البيانات والمنحنيات المستنتجة من مجموعة من الأبحاث والاختبارات خلال سنوات عديدة. ويمكن تلخيص هذه الطريقة في الخطوات التالية:

- 1- تحديد نسبة الماء إلى الأسمنت (Water cement ratio):  
بمعلومية المقاومة التصميمية للخلطة يتم تعيين نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، وذلك باستخدام جدول (5-16) وشكل (5-10) كما يلي .

جدول (5-16) قيم مقاومة الضغط بالنسبة W/C مرجعية = 0.50

مقاومة الضغط (نيوتن/مم <sup>2</sup> ) العمر باليوم				نوع الركام الكبير	نوع الأسمنت
91	28	7	3		
48	40	27	18	غير مكسر	أسمنت بورتلاندى عادى أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات
55	47	33	23	مكسر	
53	46	34	25	غير مكسر	أسمنت سريع التصلد
60	53	40	30	مكسر	

- مقاومة الضغط للتقريبية لخلطات تستخدم بها نسبة ماء للأسمنت 0.50
- بمعلومية نوع الركام والأسمنت والزمّن المطلوب تحقيق المقاومة عنده، يتم استخدام جدول (5-16)؛ حيث يتم استخدامه لإيجاد نقطة (عند نسبة ماء إلى أسمنت = 0.5) يتم توقيعها على المنحنى شكل (5-10)، ويتم رسم منحنى متوسط للمنحنى الأعلى والأسفل لهذه النقطة. ويستخدم هذا المنحنى لاستنتاج نسبة الماء إلى الأسمنت 1 (W/C) التى تحقق المقاومة التصميمية للخلطة المطلوبة.
- بمعرفة الظروف والعوامل البيئية التى ستتعرض لها الخرسانة (Durability)، يتم تحديد نسبة 2 (W/C) التى تحقق المقاومة للظروف والعوامل المختلفة، ومتطلبات التحمل (Durability) غير مذكورة هنا ويرجع للمواصفات البريطانية فى هذا الشأن ، ونأخذ القيمة الأقل من 2 (W/C) ، 1 (W/C) وتسمى (W/C) .



شكل (5-10) العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء الخالص إلى الأسمنت المستخدم في الطريقة البريطانية للتصميم

## 2- تحديد محتوى ماء الخلط :

بمعلومية درجة قابلية التشغيل المطلوبة ونوعية الركام والمقاس الاعتباري الأكبر، يتم تحديد كمية ماء الخلط الذي يحقق قابلية التشغيل المطلوبة، وذلك باستخدام جدول (5-17).

جدول (5-17) محتوى الماء المناسب لتشغيله مختلفه .

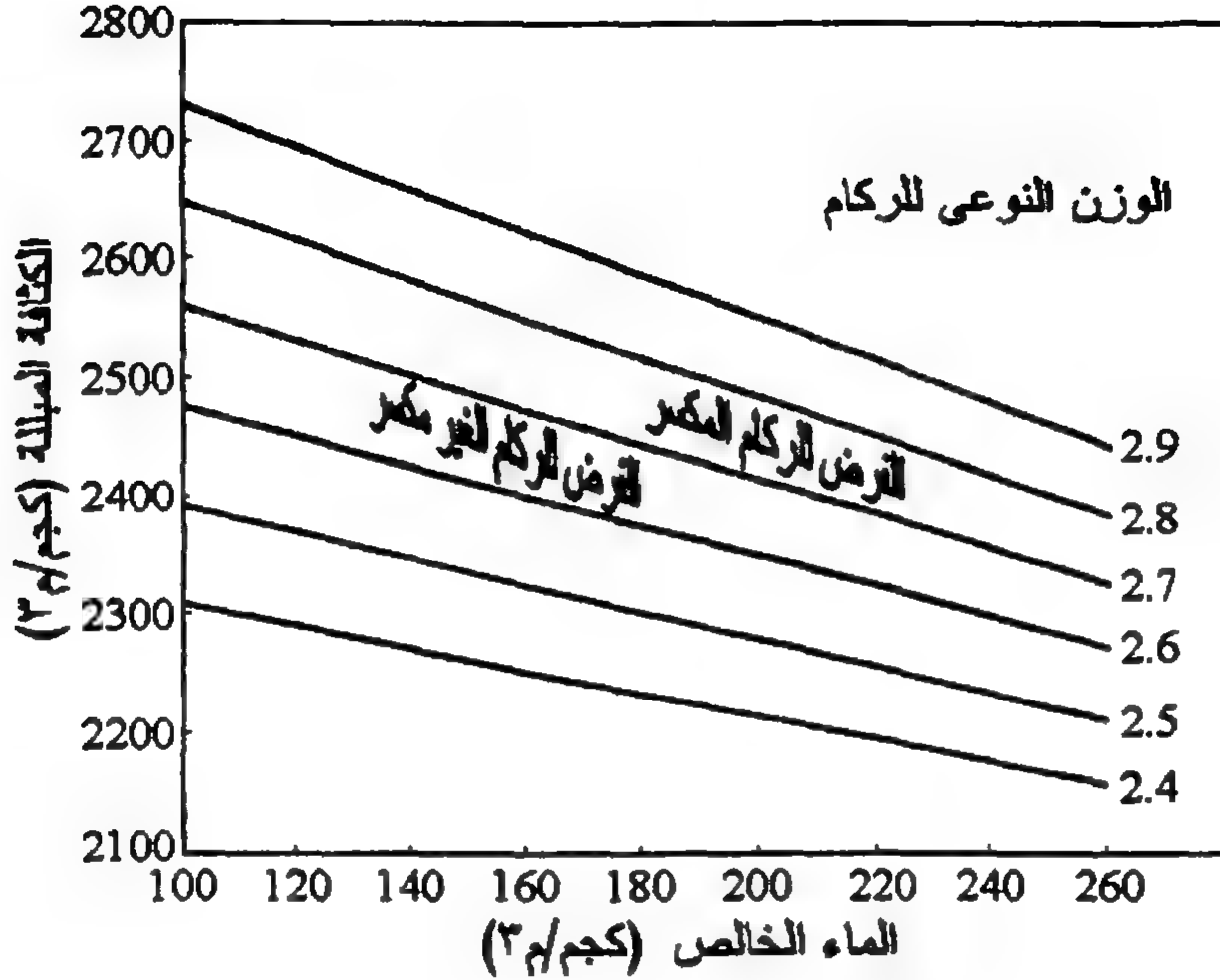
180-60	60-30	30-10	صفر - 10	الهبوط مم	
3 - صفر	6 - 3	12 - 6	أكبر من 12	زمن Vebe (بالثانية)	المقاس الاعتباري الأكبر للركام مم
				نوع الركام	
225	205	180	150	غير مكسر	10
250	230	205	180	مكسر	
195	180	160	135	غير مكسر	20
225	210	190	170	مكسر	
175	160	140	115	غير مكسر	40
205	190	175	155	مكسر	

3- تحديد محتوى الأسمنت بدلالة محتوى الماء ونسبة الماء الى الأسمنت :

$$\text{Cement content} = \frac{\text{Free Water Content}}{(W/C)}$$

4- تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة (  $\gamma$  ) :

بمعلومية للوزن النوعى للركام ومحتوى الماء وكذلك نوعية الركام المستخدم يتم تحديد وزن المتر المكعب من الخرسانة، وذلك باستخدام شكل (5-11).



شكل (5-11) تحديد كثافة الخرسانة كدالة من محتوى الماء والوزن النوعى للركام

5- تحديد المحتوى الكلى للركام:

من المعلومات السابقة (وزن الماء والأسمنت ووزن المتر المكعب من الخرسانة) يمكن حساب محتوى الركام (A).

$$A = \gamma - C - W$$

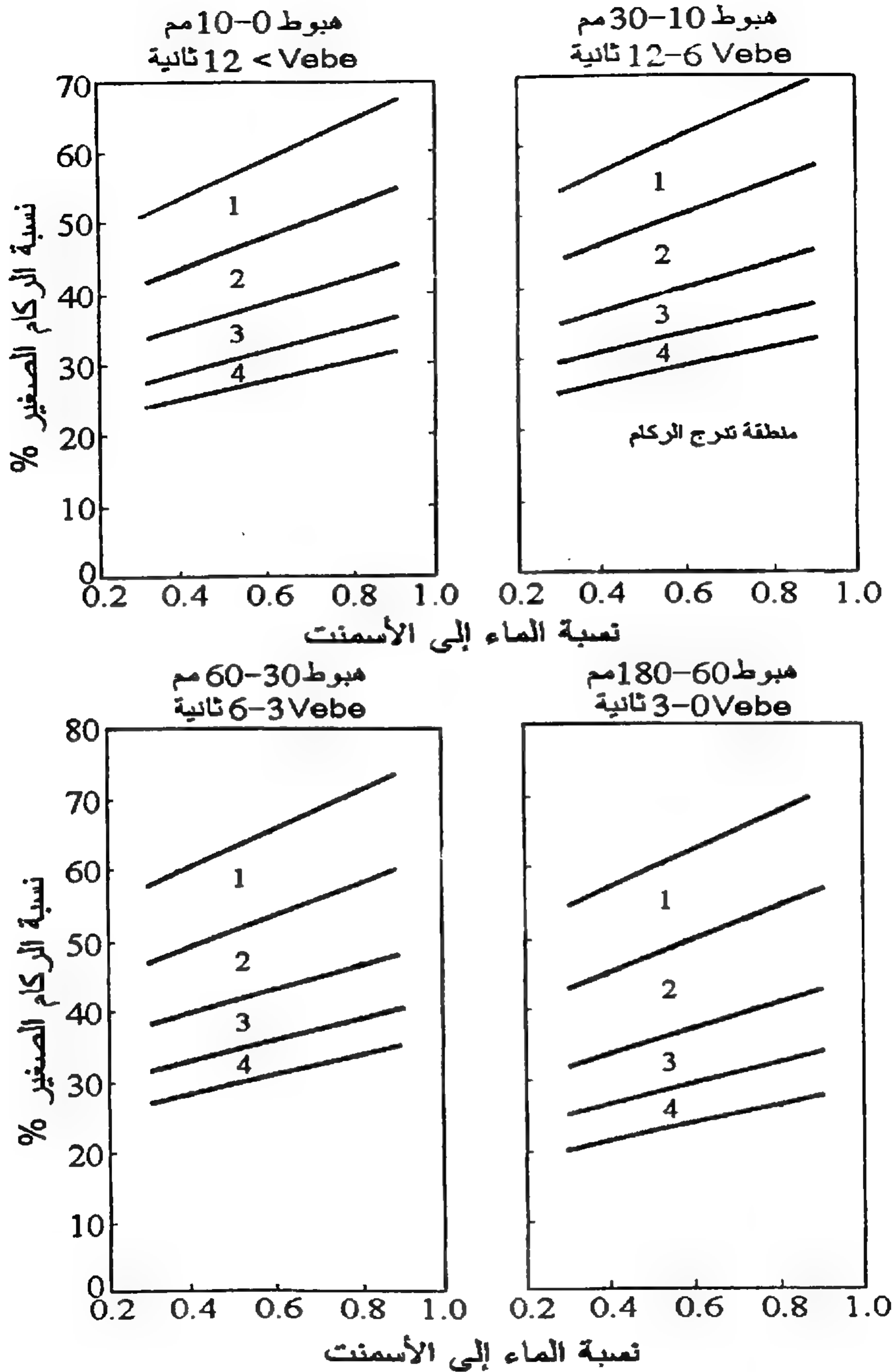
حيث  $\gamma$  وزن المتر المكعب من الخرسانة (كجم/م³).

C وزن الأسمنت (كجم/م³).

W وزن الماء (كجم/م³).

6- تحديد محتوى الركام الصغير والكبير:

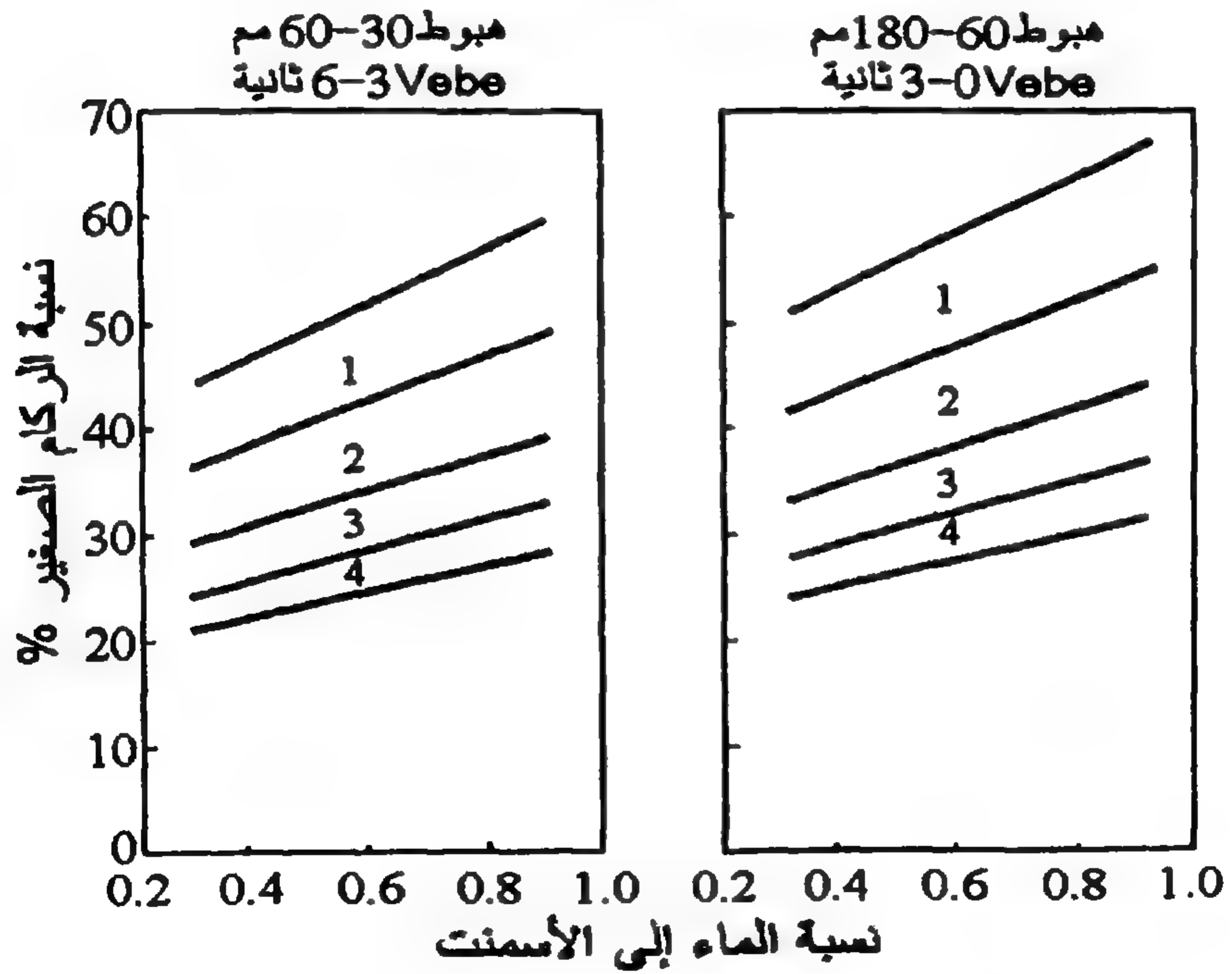
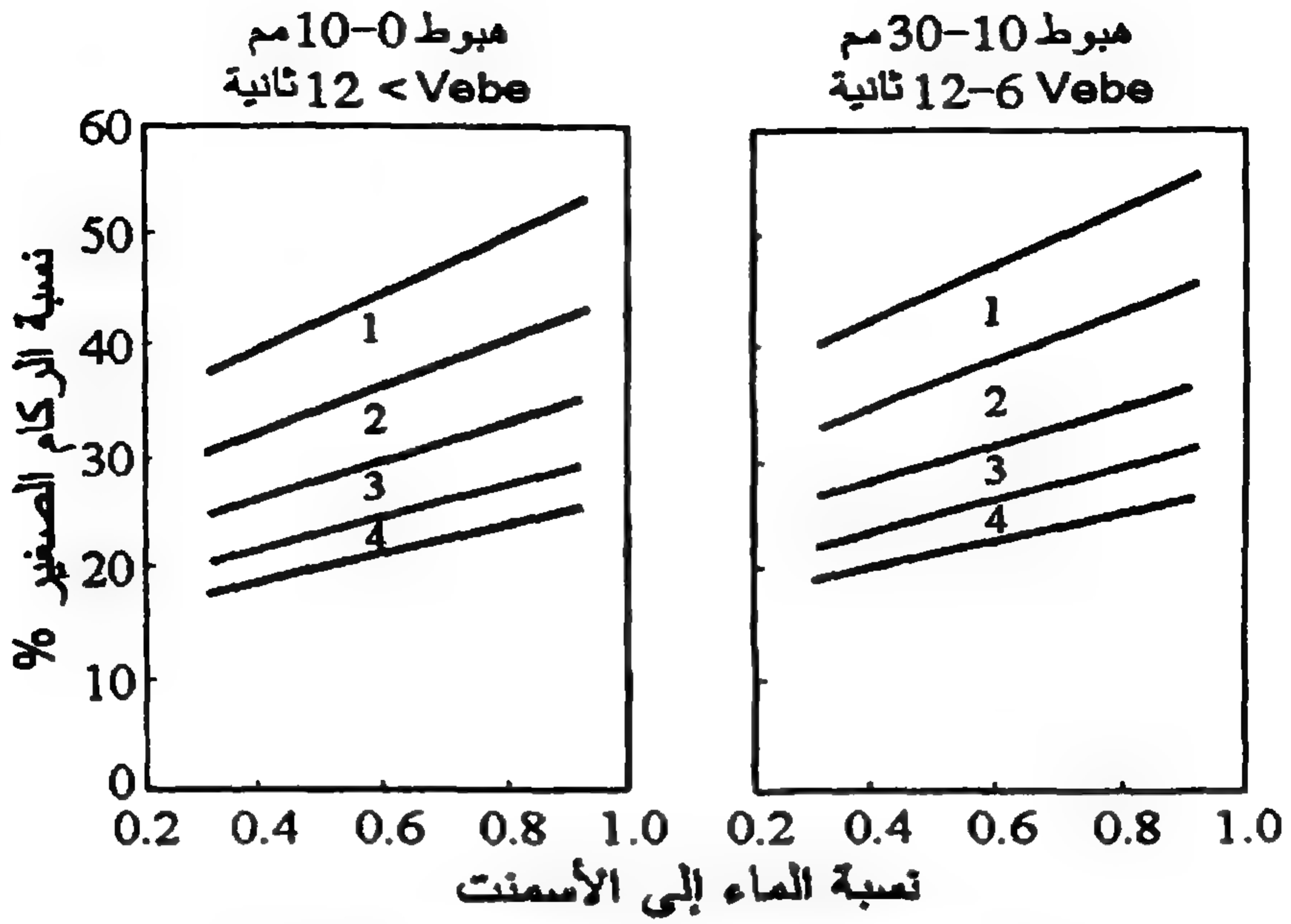
بمعلومية كل من المقاس الاعتبارى الأكبر والتشغيلية ونسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، و منطقة تدرج الرمل طبقاً للمواصفات البريطانية (1 إلى 4) يمكن حساب نسبة الركام الصغير، وذلك باستخدام شكل (5-12).



(أ) مقاس ركام-10مم

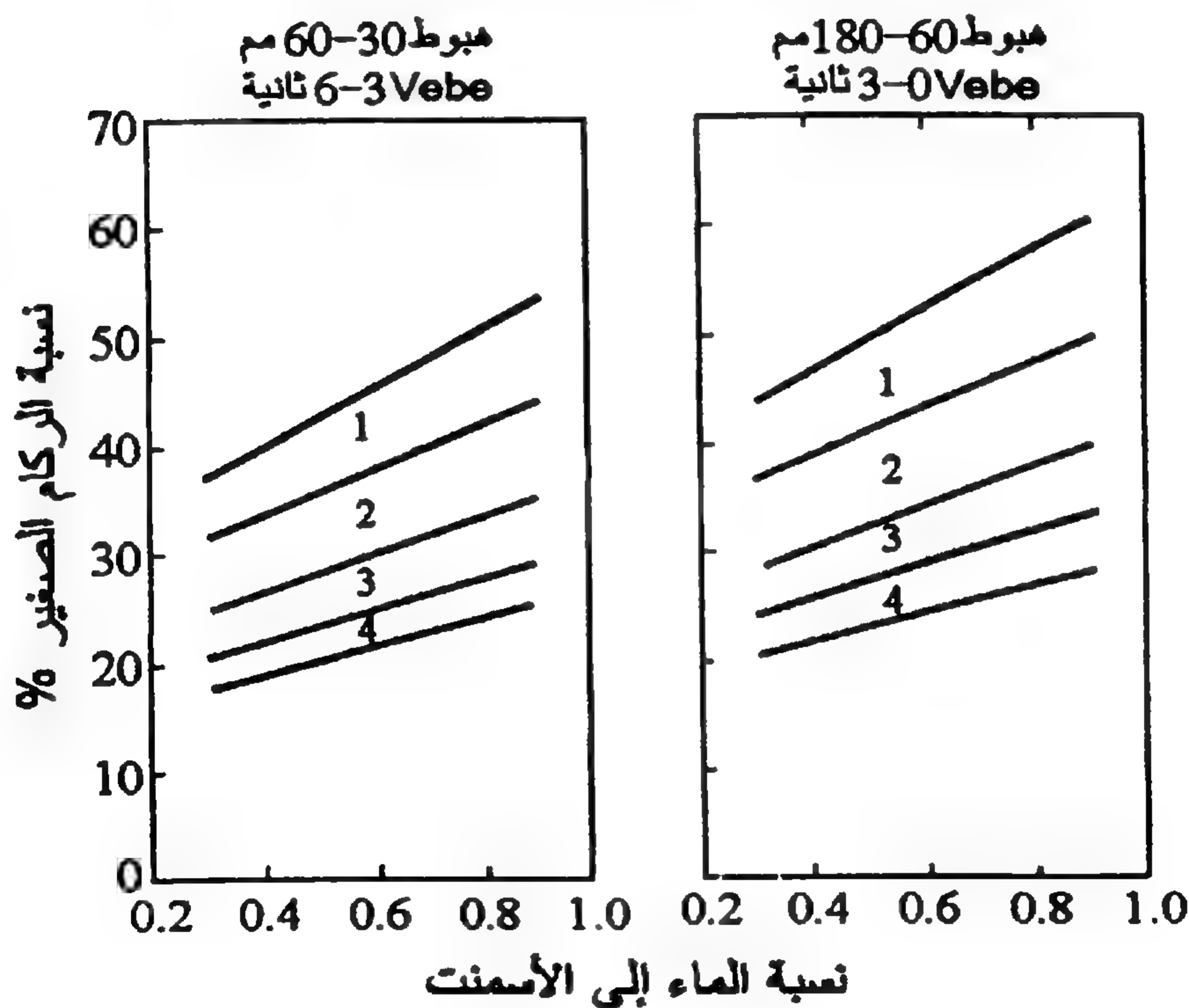
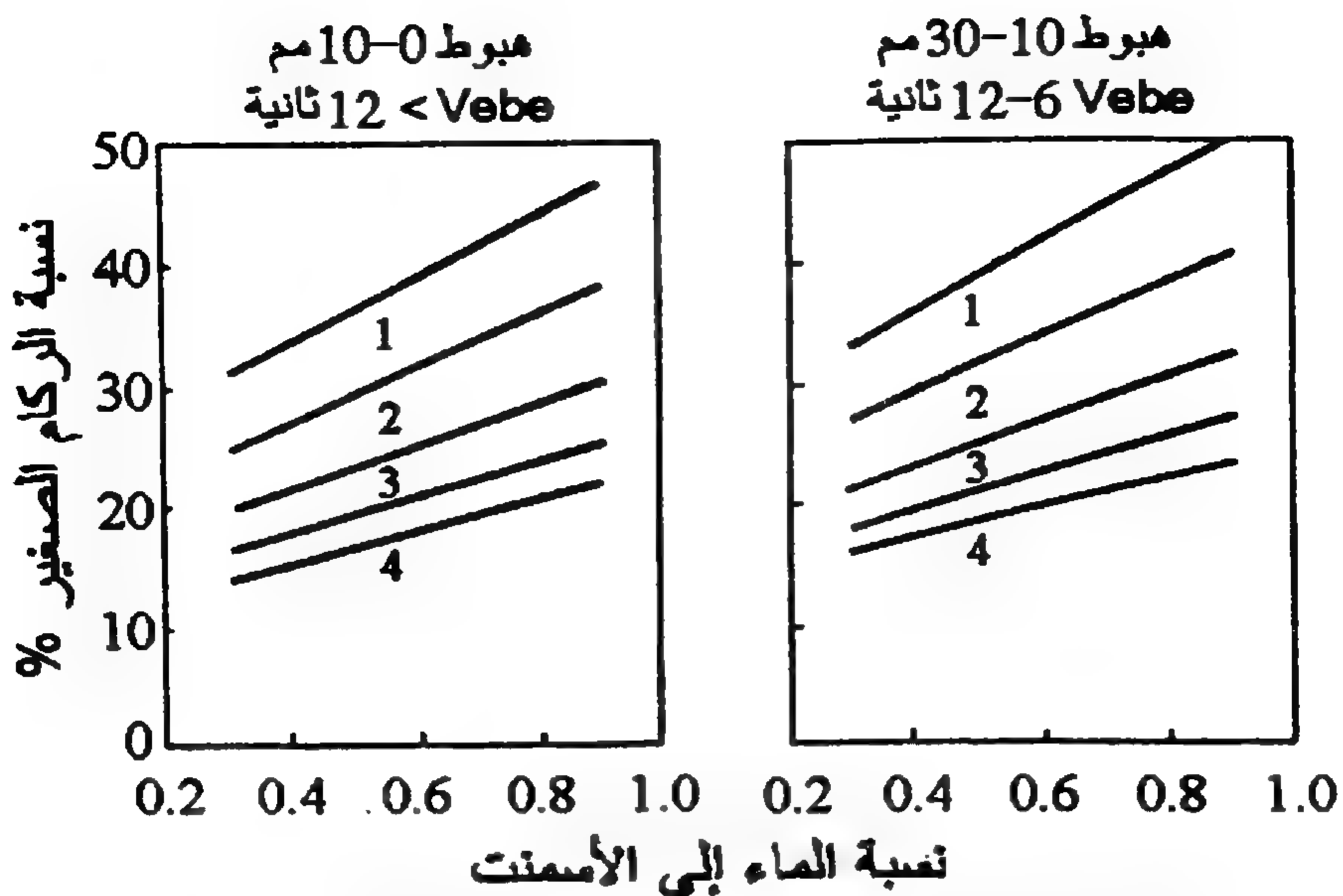
شكل (12-5) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيليه





(ب) مقاس ركام-20 مم

شكل (5-12 مسنمر) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيلية



(ج) مقاس ركام-40 مم

شكل (5-12 مستمر) تحديد نسبة الركام الصغير بالنسبة للركام الشامل كدالة من نسبة الماء الى الأسمنت والتشغيلية

## 5-6 تجاه طريقة تصميم خلطة مصرية (موضوعة بالمؤلف) .

### 5-6-1 مقدمة :

يحتوى كود الخرسانة المصرى على بعض اشتراطات لخواص مواد الخرسانة وكذلك على حدود التحمل durability لكل من مهاجمة الخرسانة للكبريتات وللظروف المحيطة ولكن لا توجد طريقه مصريه لتصميم الخلطة. والكاتب هنا بناء على بعض التجارب التى قام بها وبناء على النتائج المأخوذه من عدة مراجع وطريقة ACI والطريقة البريطانية يقترح طريقة لتصميم الخلطة الخرسانية ربما يعتمدها كود الخرسانة المصرى وهذه الطريقة تتميز عن الطرق الأخرى بأنها تغطى مقاومة ضغط للمكعب حتى مقاومة 730 كجم/سم<sup>2</sup> وتفرق بين الركام المكسر والركام الطبيعى فى مقاومة الضغط وتأخذ تأثير الإضافات فى الاعتبار كما ان مقاومة الركام تلعب دوراً هاماً فى الطريقه المقدمه .

### 5-6-2 خطوات التصميم :

يمكن تلخيص هذه الطريقه فى الخطوات التالية :

#### 1 - الخطوة الأولى :

يتم إختيار واختبار المواد الملائمة للمشروع والتي تحقق اشتراطات الكود المصرى ويحدد معايير نعومة الرمل والمقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير والوزن النوعى لكل من الرمل والركام الكبير على أساس أن الحبيبات مشبعة من الداخل جافة السطح .

#### 2 - تحديد محتوى الماء :

من جدول (5-18) يتم تحديد محتوى الماء ( $w_0$ ) الذى يحقق هبوط معلوم للخرسانة الطازجه كدالة من المقاس الاعتبارى الأكبر للركام وهل الركام طبيعى (زلط) أم ناتج كسارات (مثل كسر الأحجار) وتم تحديد هذه القيم من العديد من الدراسات السابقة بالخدمات المحلية ورسائل الماجستير والدكتوراه المجراه فى مصر بالإضافة الى تجارب قام بها المؤلف.

جدول (5-18) محتوى الماء ( $w_0$ ) كجم/م<sup>3</sup> و محتوى الهواء %

المقاس الاعتبارى الأكبر مم (بوصة)					قيمة الهبوط (مم)	نوع الركام الكبير
(37.5) (2/3")	(25) (1")	(19) (4/3")	(12.5) (2/1")	(9.5) (8/3")		
175	184	204	210	217	50-25	ركام مكسر
187	198	210	222	234	100-75	
195	213	224	235	250	175-150	
164	174	185	185	198	50-25	ركام طبيعى
170	182	190	203	215	100-75	
177	195	203	217	230	175-150	
1.0	1.5	2.0	2.5	3.5	-	محتوى الهواء

\* محتوى الماء يجب أن يزيد بضره فى معامل 1.05 إذا استخدم غبار السليكا بنسبة 8-15% من وزن الأسمنت.

### 3 - تأثير الإضافات :

في حالة وجود إضافات في الخلطة الخرسانية سواء مواد ملدنة أو مواد عالية التلدين من جدول (5-19) يتم حساب معامل التلدين ( $\rho_F$ ) للإضافة وهو عبارة عن محتوى الماء المكافئ لفعل 1 لتر من الإضافة في التأثير لى الهبوط (فكرة هذا المعامل مقترح بواسطة المؤلف وأ.د/ حافظ اليمنى وأ.د/ إبراهيم الدرويش وأ.د/ مصطفى شحاتة ) وقسم هذا المعامل الموضحه بالجدول مأخوذه من العديد من الدراسات المختلفة التي قام بها المؤلف وعديد من الباحثين المصريين في الجامعات المختلفة . يتم حساب التخفيض في محتوى الماء  $\Delta W$  نتيجة استخدام الإضافات بجرعه وزنها D .

$$\Delta W = \rho_F \cdot D$$

إذا محتوى الماء المستخدم (W)

$$W = w_0 - \rho_F \cdot D$$

### جدول ( 5-19 ) قيم معامل التلدين ( $P_f$ )

جرعة الملدنات أو الملدنات العالية من وزن الأسمنت %	$\leq 0.7$	0.8 إلى 1.5	1.7 إلى 2.9
معامل التلدين	8.7	8.0	6.8

### 4 - اعتبار شروط التحمل Durability

يقوم المهندس بتحديد حالة المهاجمات الكيميائية أو الظروف المحيطة بالمنشأ والتي تنقسم الى مهاجمة الكبريتات في حالة تعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات وفي تلك الحالة يستخدم الجدول رقم (5-20) ، الذي يوصى به الكود المصري للخرسانة وبناء على محتوى الكبريتات (معبراً عنه بـ  $SO_3$ ) والمقاس الاعتباري الأكبر نحدد أقصى نسبة ماء الى أسمنت (W/C1) ومحتوى الأسمنت الأدنى  $C_{min}$  ونوع الأسمنت والمقاومة المميزه الدنيا (fcu min) .

جدول رقم (5-20) متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة الكبريتية لتحقيق كثافة عالية ودمك كامل للخرسانة (مأخوذ من الكود المصري للخرسانة) . \*

الحد الأدنى للمقاومة المميزة للخرسانة ن/مم <sup>2</sup>	الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م <sup>3</sup>			نوع الأسمنت	تركيز الكبريتات في صورة ثالث أكسيد الكبريت		
		المقاس الاعتباري الأكبر للركام مم *				في التربة	في الماء الأرضي	SO3 كلى %
						SO3 في مزيج من الماء والتربة بنسبة 1:2 جم/لتر	جزء فى المليون	
-	0.52	400	400	350	بورتلاندى CEMI	أقل من 300	أقل من 1	0.2>
25	0.50	400	400	350	بورتلاندى CEMI أو متوسط الحرارة	300 إلى 700	1.00 إلى 1.50	-0.2 إلى 0.35
30	0.45	400	400	350	مقاوم للكبريتات أو متوسط الحرارة	700 إلى 1200	1.50 إلى 1.90	-0.35 إلى 0.50
35	0.43	450	450	400	مقاوم للكبريتات	1200 إلى 2500	1.9 إلى 3.1	-0.50 إلى 1
40	0.40	450	450	400	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	2500 إلى 5000	3.1 إلى 5.6	-1.00 إلى 2.00

\* في حالة ما يكون المقاس الإعتباري الأكبر بين قيمتين مذكورتين في الجدول تؤخذ النتائج المناظرة للمقاس الإعتباري الأقل .

— ويجب اعتبار الظروف المحيطة الأخرى ويمثلها جدول (5-21) الموصى به بالكود المصري ونستخرج منه نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C1) ومقاومة الضغط الدنيا ، محتوى الأسمنت الأدنى Cmin وفي حالة مهاجمة الخرسانة بماء البحر أو مهاجمة الكبريتات والكلوريدات يستخدم أسمنت عالي الخبث أو أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت بورتلاندى معدل (Type II ASTM) بشرط أن تكون محتوى C3A كما يلي :

$$5 \leq C3A \leq 8 \%$$

وفي الحالات الأخرى التى لاتهاجم بالأملح يستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى .



جدول رقم (5-21) قيم الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت و الحد الأدنى للمقاومة المميزة و الحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطات الخرسانية لتأمين تحمل العناصر الإنشائية المعرضة لظروف ضارة مع الزمن (مأخوذ من الكود المصرى)

الحد الأدنى لللمقاومة المميزة للخرسانة ن/مم <sup>2</sup>	الحد الأقصى لنسبة الماء : الأسمنت •	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كجم/م <sup>3</sup> •3			الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء
		المقاس الاعترارى الأكبر للركام مم***			
		10	20	32	
25	0.60	350	350	350	الخرسانة محمية تماماً من الظروف الجوية والظروف المحيطة الضارة
30	0.50	400	350	350	الخرسانة غير معرضة أو معرضة للظروف المحيطة الضارة، ولكنها مدفونة دائماً تحت الماء أو معرضة للرطوبة
40	0.40	450	400	350	الخرسانة معرضة لظروف محيطة أو ضارة أو لماء البحر أو لدورات من البلل أو الجفاف أو الغازات الخ ****

\* إذا كان المقاس الإعتبارى الأكبر يقع بين قيمتين مذكورتين فى الجدول يؤخذ محتوى الاسمنت المناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.

#### 5 - اعتبار مقاومة الضغط :

يتم تحديد مقاومة الضغط المميزة للمكعب القياسى (fcu) بحيث تكون الأكبر من مقاومة التصميم المطلوبة للمبنى أو المقاومة الدنيا التى أشرنا إليها المحدده من ظروف التحميل من الخطوة السابقة . يتم تحديد هامش أمان تصميم الخلطة ثم نحدد مقاومة تصميم الخلطة بإضافة المقاومة المميزة لهامش الأمان .  
- يتم تحديد مقاومة ضغط تصميم الخلطة fm

$$F_m = f_{cu} + M$$

ويحسب هامش الأمان M من المعلومات السابقة إن وجدت كما سيذكر فى بند ضبط الجودة رقم (5-7) .

— يستخدم جدول (5-22) فى حالة مقاومة ضغط حتى 40 ن/مم<sup>2</sup> لكلاً من للركام المكسر والغير مكسر والجدول (5-23) فى حالة خرسانه ذات مقاومة عالية لتحديد نسبة الماء الى الأسمنت التى تناظر مقاومة تصميم الخلطة . ويتم تحديد نسبة الماء للأسمنت التى تحقق fm ولتكن (W/C)<sup>2</sup> .

جدول ( 5-22 ) مقاومة الضغط ( $20 \leq f_{cu} \leq 40 \text{ N/mm}^2$ ) و نسبة المياه للأسمنت  
1- ركام غير مكسر

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.71	0.66	0.61	0.57	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39

2- ركام مكسر

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
نسبة w/c	0.78	0.70	0.65	0.62	0.58	0.45	0.52	0.49	0.47

جدول ( 5-23 ) مقاومة الضغط – نسبة المياه للأسمنت (الخرسانة عالية المقاومة)

1- ركام غير مكسر (زلط) ( $40 < f_{cu} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ )

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	41	42	43	44	45
نسبة w/c	0.382	0.371	0.360	0.349	0.339
$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	46	47	48	49	50
نسبة w/c	0.330	0.320	0.310	0.301	0.292

2- ركام مكسر ( $40 < f_{cu} \leq 73 \text{ N/mm}^2$ )

$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	42.5	45	47.5	50	52.5	55
نسبة w/c	0.450	0.436	0.420	0.400	0.380	0.363
$f_{cu}$ (N/mm <sup>2</sup> )	57.5	60	62.5	65	67.5	73
نسبة w/c	0.350	0.342	0.326	0.310	0.296	0.270

6 – يستخدم نسبة الماء الى الأسمنت (W/C) الأقل من 1 (W/C) و 2 (W/C) .

7 – بمعلومية نسبة الماء الى الأسمنت ومحتوى الماء يتم حساب محتوى الأسمنت والذي يجب أن يزيد عن محتوى الأسمنت الأدنى c min .

8 – تحديد نوع وخواص الركام الكبير .

من الدراسات السابقة اتضح أنه في حالة استخدام زلط طبيعي من الصعب الحصول على مقاومة ضغط أكبر من 50 ن/مم<sup>2</sup> نظراً لضعف مقاومة الترابط بين الزلط والمونة الأسمنتية ويجب ان يكون خواص الركام مناسبة للمقاومة المطلوبة كما هو موضح بجدول ( 5-24 ) .

– في حالة استخدام كسر الأحجار يمكن الحصول على مقاومة ضغط عالية حتى ( 73 ن/مم<sup>2</sup> ) نظراً لتحسن مقاومة الترابط ويفضل توريد كسر أحجار صلابتها تحقق الصلادة الموضحة في جدول ( 5-24 ) . وفي حالة مقاومة الضغط الأكبر من 73 ن/مم<sup>2</sup> توجد اشتراطات أخرى لاتدخل في نطاق هذه الطريقة .

جدول (5-24) نوع الركام الكبير و خواصه طبقاً لقيمة المقاومة

1- ركام غير مكسر (زلط)

مستوى مقاومة الضغط		$40 \geq f_{cu} \geq 20$		$50 \geq f_{cu} \geq 40$	
مقاومة ضغط المكعب		$40 = f_{cu}$		$20 = f_{cu}$	
يستخدم أم لا		يستخدم		يستخدم عند استخدامه	
معامل التهشيم		$20 \geq$		$25 \geq$	
زلط		يغسل عند استخدامه		$13 \geq$	

2- ركام مكسر

مستوى مقاومة الضغط		$40 \geq f_{cu} \geq 20$		$73 \geq f_{cu} \geq 40$	
مقاومة ضغط المكعب		$40 = f_{cu}$		$20 = f_{cu}$	
يستخدم أم لا		يستخدم		يستخدم	
معامل التهشيم %		$20 \geq$		$25 \geq$	
معامل التهشيم %		$20 \geq$		$11 \geq$	
معامل التهشيم %		$25 \geq$		$14 \geq$	

9 - تحديد نسبة الرمل الى الركام .

جدول رقم (5-25) يحدد نسبة الرمل الى الركام الشامل (S/A) كداله من معايير نعومة الرمل ومستوى هبوط الخرسانة الطازجة (هبوط أقل من 100 مم أو هبوط أكبر من 150 مم) والمقاس الإعتباري الأكبر للركام .

جدول (5-25) نسبة الرمل للركام الكبير (S/A)

* الهبوط			$100 \geq$ مم			$150 \leq$ مم		
نسبة w/c			$0.65 \leq$	$\geq 0.45$ w/c $0.65 \geq$	$0.4 \geq$	$0.65 \leq$	w/c $0.65 \geq$	$0.4 \geq$
معايير النعومة	$2.8 \leq$	المقاس الإعتباري	10	0.39	0.45	0.46	0.41	0.45
			20	0.37	0.40	0.44	0.39	0.42
			40	0.36	0.37	0.43	0.36	0.39
	$2.6 \leq$		10	0.38	0.40	0.43	0.40	0.42
			20	0.37	0.39	0.43	0.39	0.40
			40	0.33	0.37	0.43	0.36	0.38
	$2.3 \leq$		10	0.37	0.39	0.43	0.36	0.38
			20	0.33	0.35	0.42	0.36	0.38
			40	0.33	0.34	0.42	-	0.37

\* أي هبوط قيمته أقل من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 100 مم وكل ما هو أعلى من 120 مم يمكن إعتباره يساوى 150 مم

10 - للتطبيق فى معادلة الحجم المطلق وحساب محتوى الركام (A) .

$$\frac{C}{3.15} + \frac{W}{1} + \frac{D}{G_{admixture}} + \frac{(S/A)A}{G_{ss}} + \frac{A(1-S/A)}{G_{sg}} = 1 - Air$$

- من هذه المعادلة نحسب قيم محتوى الركام (A) .

- نحدد محتوى الرمل بضرب نسبة S/A × محتوى الركام .

- نحدد الكثافة النظرية  $\gamma_{th}$  .

$$\gamma_{th} = C + W + A + D$$

- يتم تنفيذ خلطة خرسانية للتحقق من مقاومة الخلطة الخرسانية  $f_m$  وهبوط الخرسانة والكثافة العملية .

5-7-1 مقدمة :

الخرسانة مادة غير متجانسة تقريباً حيث تتكون من عدة مواد هي الأسمنت والرمل والركام الكبير والماء والإضافات ومما هو جدير بالذكر أن أى تغيير فى خواص تلك المكونات أو محتواها فى الخلطة الخرسانية أو فى كيفية صنعها سيؤدى ذلك الى اختلاف فى خواص الخرسانة .

وجداول رقم (5-26) يوضح نتائج مقاومة الضغط فى أحد المواقع ويتضح منه تغير مقاومة الخرسانة وسنتناول فى هذا الجزء أسباب اختلاف مقاومة ضغط الخرسانة خلال فترة تنفيذ المنشأ وكيفية الحكم على جودة الخرسانة . وسوف يتم ان شاء الله ذكر هذا الموضوع الهام بالتفصيل فى كتاب ضبط الجودة الذى سيتم نشره ان شاء الله قريباً .

جدول رقم (5-26) مقاومة الضغط (ن/مم<sup>2</sup>) لمجموعة من المكعبات القياسية لأحد المواقع

21	19	22	25	20	18	19	20	22	20
22	17	20	24	18	19	20	15	24	21
26	20	23	20	17	20	22	15	24	20
18	16	23	20	22	20	22	18	21	22
23	19	18	22	18	17	22	16	27	23
16	18	19	25	19	19	20	17	17	20
18	17	22	17	21	24	19	19	20	20
28	22	19	21	20	24	20	20	18	21
18	17	23	18	20	24	18	20	18	22
19	18	20	16	18	23	25	17	23	20

5-7-2 أسباب تغير مقاومة ضغط الخرسانة فى المشروع الواحد :

ينشأ التغير فى الخرسانة من عدة عوامل نوجزها فى مايلى :

1 - تغير خواص الركام حيث أن الركام يتم توريده من محجر واحد ولكن يلاحظ حدوث تغير ولو طفيف فى خواص الركام ويؤدى ذلك الى اختلاف خواص الخرسانة ويزيد هذا الاختلاف لو تم التوريد من عدة محاجر وإذا أردنا التحكم فى خواص الركام الكبير مثلاً فيمكن توريده على هيئة عدة مقاسات (اثنين أو ثلاثة) الى الموقع بحيث يتم خلطهم بنسب وزنية معينة فيقل الاختلاف .

2- تغير خواص الأسمنت :

حيث تتغير خواص الأسمنت بزيادة فترة التخزين ولذلك يجب إعادة إختباره اذا زادت فترة التخزين عن شهر وكذلك اختلاف وزن كيس الأسمنت عن 50 كجم .

3- اختلاف نسبة الماء الى الأسمنت :

حيث يتغير رطوبة الركام من وقت لآخر ويهطول الأمطار أو حدوث تسرب للمياه فى الموقع. بتغير محتوى الماء تتغير نسبة الماء الى الأسمنت ويمكن التحكم فى ذلك عن طريق تحديد محتوى الماء فى الركام وعمل التصحيحات اللازمة .



4- تغيير مجموعة المهندسين والعاملين :  
إذا حدث تغيير في المهندسين المنفذين أو العمالة الفنية يحدث اختلاف في صناعة الخرسانة .

5- التغير الحادث في صناعة الخرسانة من حيث التحكم في التشغيلية والدمك

6- استخدام قوالب غير قياسية .

7- استخدام ماكينات غير معاييره .

8- اجراء الاختبار بطريقة غير قياسية .

5-7-3 الحكم على جودة الخرسانة من جهة مقاومة ضغطها .

— يقوم المهندس باختبار عينات قياسية على مدار عمر المشروع . ثم يقوم بتجميع هذه المعلومات وعن طريق استخدام الأساليب الإحصائية يتم الحكم على جودة الخرسانة باستخدام عدة طرق منها :

أ — المدرج التكرارى لمقاومة الخرسانة . Histogram

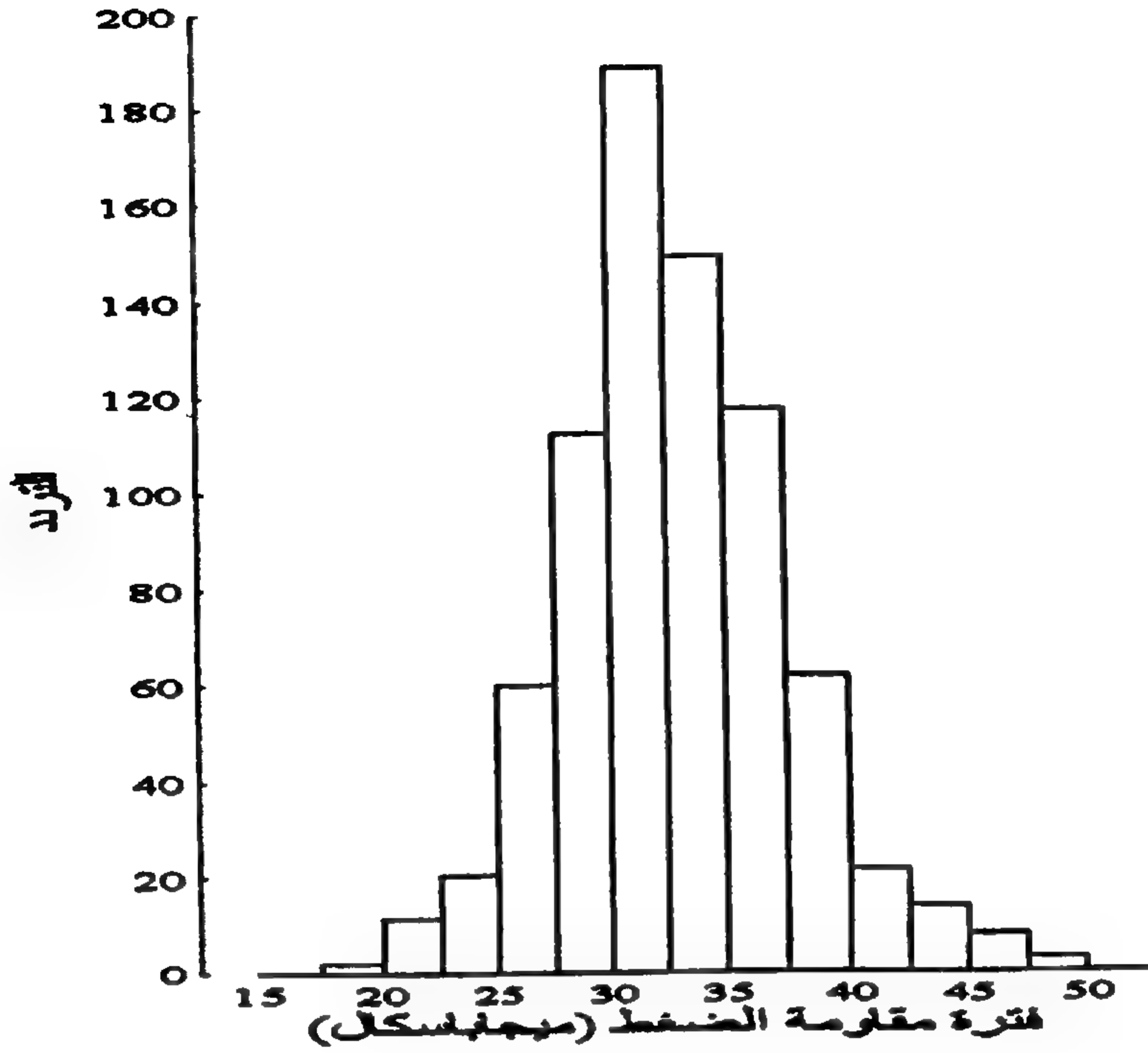
— يتم تجميع مقاوّمات ضغط الخرسانة وتقسيمها الى خلايا تبدأ من أدنى مقاومة ضغط وحتى أعلى مقاومة ضغط وكل خلية تمثل مدى من مقاومة الضغط ( بفروق فى المقاومة قدرها 5 أو 10 أو 15 أو 20 كجم/سم<sup>2</sup> )

— حصر عدد العينات التى تكون مقاومتها داخل كل خلية ولتكن (Ni) .

— يتم تحديد احتمال حدوث مقاومة ضغط تلك الخلية بقسمة العدد Ni على عدد العينات الكلى .

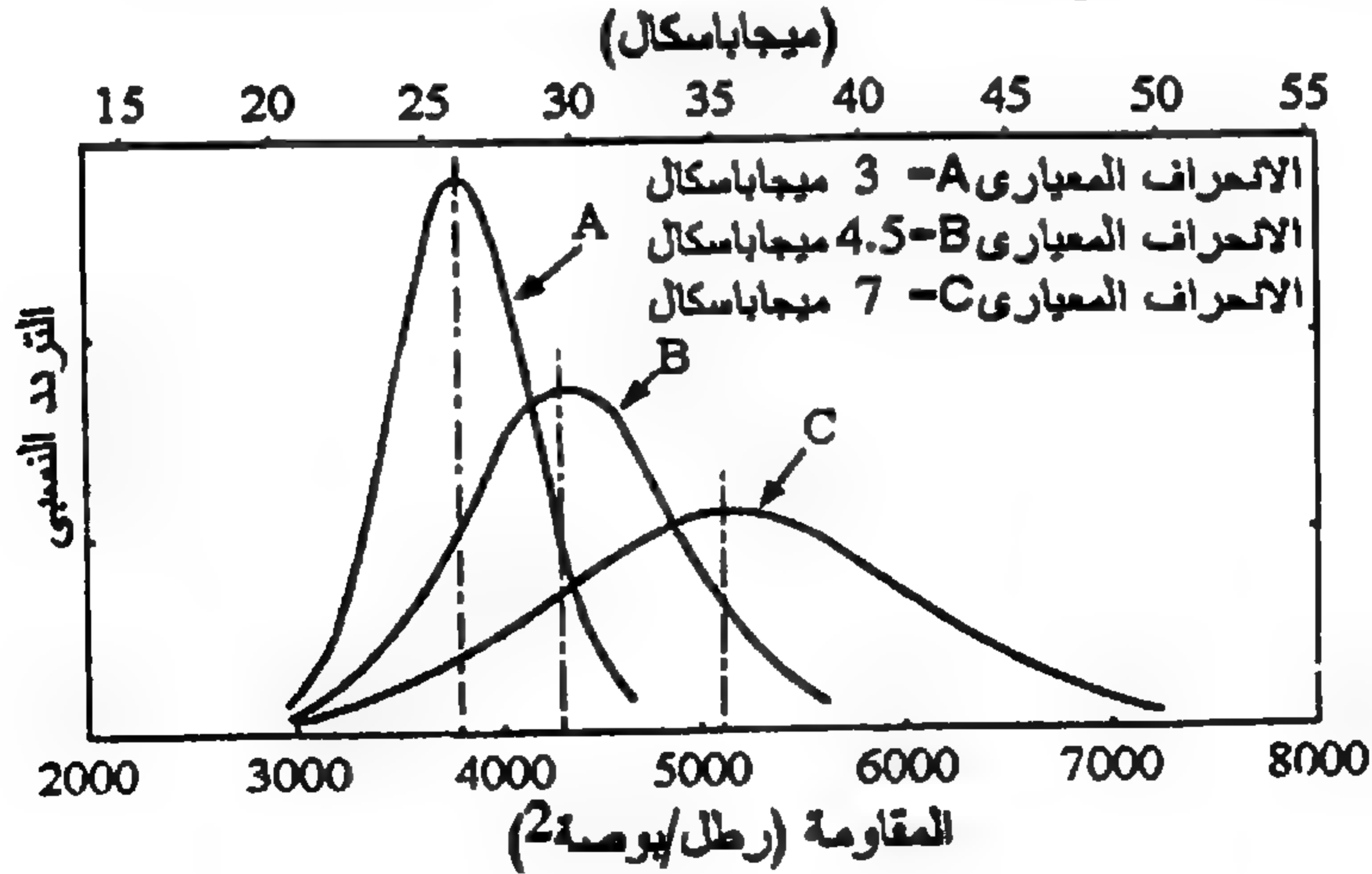
— يتم رسم منحنى المدرج التكرارى للمقاومات (Histogram) كما بشكل (5-13) .





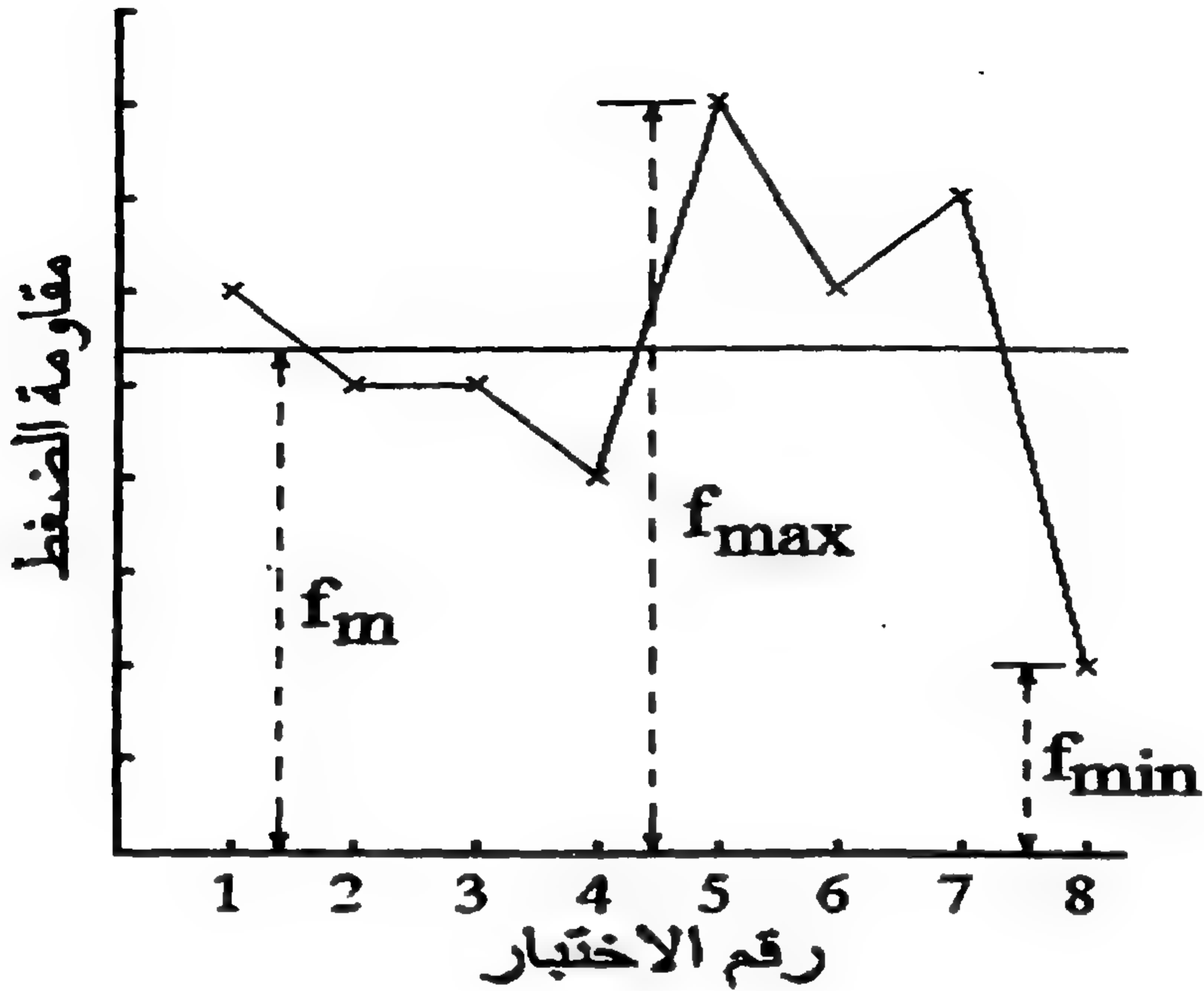
شكل (5-13) منحنى المدرج التكرارى

ب - المضلع التكرارى .  
إذا تناقص مدى الخلية الواحده لأقل قيمة ممكنه يمكن رسم المضلع التكرارى كما هو مبين  
بشكل (5-14) والذي يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط واحتمالها (تكرار الحدوث  
للمقاومة بالنسبة لمجموع العينات).



شكل (5-14) المضلع التكرارى للمقاومة

ج - العلاقة بين مقاومة الضغط وأرقام الاختبارات .  
 يتم رسم العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الاختبار (اختبار رقم 1 ، 2 ، ..... n) كما هو موضح بشكل (5-15) .



شكل (5-15) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الاختبار

د - الحكم على جودة الخرسانة حسابياً .  
 يلاحظ من شكل (5-15) أن مقاومة الضغط الدنيا لمشروع ما هي ( $f_{cu \min}$ ) ومقاومة الضغط القصوى هي ( $f_{cu \max}$ ) ويتم حساب مقاومة الضغط المتوسطة ( $f_{cu \text{av}}$ ) .

$$f_{cu \text{av}} = \frac{f_{cu1} + f_{cu2} + f_{cu3} + \dots + f_{cun}}{n}$$

حيث n عدد الاختبارات .

يتم حساب الاختلاف ( $\Delta$ ) بين مقاومة اختبار معين ( $f_{cun}$ ) ومقاومة الضغط المتوسطة  $f_{cu \text{av}}$

$$\Delta = F_{cun} - f_{cu \text{av}}$$

وكما كانت  $\Delta$  قريبة من الصفر دل ذلك على نقص التغير في مقاومة الخرسانة والعكس صحيح وللحكم على جودة الخرسانة يتم استخدام دليلين احصائيين هما الانحراف المعياري (Standard deviation) لمقاومة الضغط ( $\sigma$ ) ومعامل الاختلاف (V) حيث :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (f_{cu,i} - f_{cu,av})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i^2}{n-1}}$$

$$V = \left( \frac{\sigma}{f_{cu,av}} \right) \times 100$$

وجداول رقم (5-27) يحتوى على مستويات ضبط الجودة التى يستخدمها معهد الخرسانة الأمريكى للحكم على جودة مقاومة الخرسانة فى الموقع أو فى الخلطات المعملية .

جدول رقم (5-28) يحتوى على مستويات ضبط الجودة لخرسانة المنشآت التى يستخدمها الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية كدالة من قيم معامل الاختلاف .

جدول رقم (5-27) استخدام قيم الانحراف المعيارى للحكم على جودة الخرسانة .

الانحراف المعيارى 6 Kg/cm <sup>2</sup>					نوع الخلطات
ممتاز	جيد جداً	جيد	مقبول	ضعيف	
28.1	28.1 إلى 35.2	35.2 إلى 42.2	42.2 إلى 94.2	أكبر من 49.2	خلطات المنشآت الخرسانية
14.1	14.1 إلى 17.6	17.6 إلى 21.1	21.1 إلى 24.6	أكبر من 24.6	خلطات معملية

جدول رقم (5-28) استخدام قيم معامل الاختلاف للحكم على جودة الخرسانة .

درجة التحكم	ممتازة	جيدة	مقبولة	رديئة
معامل الاختلاف % V	أقل من 10	10 إلى 15	15 إلى 20	أكبر من 20

4-7-5 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة (f<sub>m</sub>) والمقاومة المميزة (f<sub>cu</sub>) .

كما هو مبين فى جدول (5-26) وشكل (5-15) يتضح مدى اختلاف المقاومات للعينات المأخوذة من موقع واحد فهل سيتم تصميم المبنى على أقصى مقاومة (f<sub>max</sub>) أم على مقاومة الضغط المتوسطة أم على مقاومة الضغط الدنيا (f<sub>min</sub>) . إن تصميم المبنى على أعلى مقاومة يعنى أن جميع مقاومات المبنى المنفذة ستكون أقل من تلك المقاومة كما أن تصميم المبنى على المقاومة المتوسطة فى معنى ذلك أن 50% من مقاومة المبنى محتمل أن تقل عن تلك المقاومة كما أن استخدام المقاومة الدنيا غير إقتصادى.

جميع الكودات العالمية تعتبر أن مقاومة للضغط المتوسطة  $f_m$  هي مقاومة تصميم الخلطة وتكون مقاومة تصميم المبنى هي مقاومة الضغط المميزه  $(f_{cu})$  .  
(Characteristic compressive strength) وتكون العلاقة بينهما كما يلي :

$$f_m = f_{cu} + M$$

$$f_{cu} = f_m - M \quad \text{حيث } M = \text{هامش أمان}$$

أى أن المقاومة المميزه هي مقاومة أقل من المقاومة المتوسطة وأعلى من المقاومة الدنيا .

#### 1-4-7-5 العلاقة بين مقاومة تصميم الخلطة $(f_m)$ والمقاومة المميزه $(f_{cu})$ طبقاً للكود المصرى :

1 - تعريف المقاومة المميزه وتحديد هامش الأمان :  
ويعرف الكود المصرى للخرسانة المقاومة المميزه بأنها مقاومة ضغط المكعب القياسى  $(15 \times 15 \times 15 \text{ سم})$  عند عمر 28 يوم والتي من غير المحتمل أن يقل عنها أكثر من 5% من عدد نتائج اختبارات تحديد المقاومة أثناء التنفيذ وهي المقاومة التى يقوم المهندس الإستشارى بتصميم القطاعات الخرسانية بناء عليها  
ويحسب هامش الأمان  $M$  كما يلي :

$$M = K \cdot 6$$

$K$  = ثابت من احتمال فشل 5 % من العينات عن تحقيق المقاومة المميزه = 1.64 (جدول 5-1) .

6 = الإنحراف المعيارى لنتائج اختبارات مقاومة الخرسانه التى سبق للمقاول صبها فى ظروف مشابهه لظروف الإنشاء .

وجداول (5-29) يعطى قيم هامش الأمان سواء لخرسانة ذات مقاومة مميزه أكبر من أو أقل من 200 كجم /سم<sup>2</sup> ويلاحظ أن الأصل هو حساب الإنحراف المعيارى من النتائج السابقة ويعطى الكود قيم دنيا لهامش الأمان فى حالة توافر 40 نتیجه على الأقل . وفى حالة عدم توافر 40 نتیجه أو توافر نتائج أقل يعطى قيمة ثابتة لهامش الأمان كما هو موضح بجدول (5-29) .

— ويوصى الكود المصرى بعمل خلطات تجريبية فى المعمل الذى يقوم بتصميم الخلطة ثم يوصى الكود بتنفيذ خلطات تأكيديه للمقاومة .

#### 2 — الخلطات التأكيديه :

يجب على منتج الخرسانه أن يقوم فى الموقع بتنفيذ ثلاث خلطات خرسانية بالكمية التى تنتج فى الموقع ومن كل خلطة يأخذ تسعة مكعبات ثلاثه منها تختبر عند عمر مبكر (ثلاثة أو سبعة أيام) والباقى تختبر عند عمر 28 يوم .

— تعتبر الخلطة ناجحه فى حالة أن تحقق نتائج اختبارات الثلاث خلطات عند عمر 28 يوم للشروط الآتية :

أ — لا يقل متوسط مقاومة الضغط بعد 28 يوم لـ 18 مكعب عن 95 % من مقاومة تصميم الخلطة .

ب — لا يقل متوسط لـ 18 مكعب عن المقاومة المميزه مضافاً إليها 65 كجم/سم<sup>2</sup>

ج — لا تقل مقاومة أى مكعب منفرد عن المقاومة المميزه .

د - لايزيد الفرق بين مقاومة أكبر مكعب وأصغر مكعب فى الخلطة الواحد عن 15% من متوسط مقاومة السنته مكعبات الخاصة بهذه الخلطة .  
ويمكن للجهد المشرفه فى أى وقت عمل خلطات تأكيدية اضافية بالخاصات الموجوده فى الموقع .

بنول (5-29) هامش أمان تصميم خلطات الخرسانة طبقاً للكوود المصرى

البيانات الإحصائية المتوفرة عن نتائج اختبار المقاومة		هامش أمان تصميم خلطة الخرسانة M عندما تكون المقاومة المميزة $f_{cu}$
	$F_{cu} < 200$ كجم/سم <sup>2</sup>	$F_{cu} > 200$ كجم/سم <sup>2</sup>
1- توافر 40 نتيجة اختبار أو أكثر بمراد وظروف مماثلة	(1.64×الانحراف المعياري) ولا يقل عن 65 كجم/سم <sup>2</sup>	(1.64×الانحراف المعياري) ولا يقل عن 0.33 المقاومة المميزة
2- عدم توافر بيانات أقل من 40 خلطة خلال فترة لا تزيد عن 6 شهور بمراد وظروف مماثلة	130 كجم/سم <sup>2</sup>	ولا يقل عن 0.66 المقاومة المميزة

\* الاختبار يمثل عينة من ثلاث مكعبات أو اسطوانات.

5 - 4 - 2 المقاومة المميزة فى طريقة معهد الخرسانة الأمريكى .  
يستخدم معهد الخرسانة الأمريكى عينات اسطوانية (15×30سم) لتحديد مقاومة  
الضغط عند 28 يوم . يهتم المعهد بأن لايزيد الفرق بين مقاومة تصميم الخلطة والمقاومة  
المميزة ( $f_{cy}$ ) زيادة كبيره ويهتم كذلك بأن لا يحدث نقص فى المقاومة فى تجارب  
متلاحقة.

أ - فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة للأسطوانه أقل من أو يساوى 350 كجم/سم<sup>2</sup> .  
- يجب أن تحقق المقاومة المميزة الإشتراطات التالية :

(1) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال فشل ثلاث اختبارات  
متتابعة من تحقيق تلك المقاومة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$$f_m = f_{cy} + 1.346$$

(2) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص المقاومات عنها  
بمقدار 34.5 كجم/سم<sup>2</sup> عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$$f_m = f_{cy} + 2.336 - 34.5$$

ب - فى حالة مقاومة الخرسانة المميزة الأكبر من 350 كجم/سم<sup>2</sup> .

-(1) تستخدم الشرط الأول فى البند (أ) .

-(2) المقاومة المميزة هى مقاومة الاسطوانة التى لايزيد احتمال نقص المقاومات  
عنها بمقدار 0.10 كجم/سم<sup>2</sup> من المقاومة المميزة عن 1% وينتج من هذا الشرط أن :

$$f_m = 0.90 f_{cy} + 2.336$$



– بحسب 6 من نتائج الاختبارات المتوفرة لظروف مشابهه بحيث لا يقل عدد العينات عن 30 .

– فى حالة وجود عدد من الاختبارات أقل من 30 وأكبر من أو يساوى 15 بحسب used 6 لهذه العينات ويتم تكبير الانحراف المعيارى 6 بضربه فى معامل تكبير (f) لتحصل على 6 used

$$6 \text{ used} = f \cdot 6$$

وتحسب f طبقاً لجدول (30-5) .  
جدول (30-5) قيم معامل التصحيح .

عدد العينات	30	25	20	15
معامل التصحيح f	1	1.03	1.08	1.16

فى حالة عدم وجود معلومات أو عدد اختبارات أقل من 15 إختبار يستخدم هامش أمان كما بجدول رقم (31-5) .  
جدول (31-5) هامش الأمان كداله من مقاومة الضغط فى حالة عدم توفر نتائج أو توفر أقل من 15 نتيجة .

مستوى مقاومة الضغط كجم/سم <sup>2</sup> fcy	fcy < 210	210 ≤ fcy ≤ 350	fcy > 350
هامش الأمان (M) كجم/سم <sup>2</sup>	70	85	0.10 fcy + 35

## 5-8 أمثلة على تصميم الخلطات الخرسانية .

مثال (1) :

المطلوب تصميم خلطات خرسانية لمنشأ مقاومته المميزة للإسطوانة 250 كجم / سم<sup>2</sup> إذا كان هبوط الخرسانة المطلوب للأساسات 15 مم وتتعرض الخرسانة لمهاجمة الكبريتات معبراً عنها (SO<sub>4</sub> = 3000 جزء فى المليون ) والهبوط المطلوب لباقي المنشأ 10 سم إذا علم أن المقاس الإعتبارى الأكبر لكسر الأحجار 1' ومعايير نعومة الرمل 2.6 والوزن النوعى للزلط والرمل 2.68 ، 2.6 ووحدة الوزن = 1.65 ، 1.70 طن/م<sup>3</sup> على الترتيب بفرض أن الانحراف المعيارى = 40 كجم/سم<sup>2</sup> .

### تصميم الخلطة الخرسانية الخاصة بالأساسات

- من جدول (3-5) محتوى الماء = 205 كجم ومحتوى الهواء = 1.5 % .
- من جدول (5-5) يستخدم أسمنت مقاوم للكبريتات ونسبة الماء للأسمنت W/C1 = 0.45 ومقاومة الضغط الدنيا = 310 كجم/سم<sup>2</sup>
- مقاومة الضغط للإسطوانة = المقاومة القصوى من 250 ، 310 (المقاومة المميزة = 310 كجم /سم<sup>2</sup> .

$$Fm1 = 310 + 1.34 (40) = 364.$$

$$Fm2 = 310 + 2.33 (40) - 34.5 = 368 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Use } f_{cy} = 368.$$

— من جداول (4-5) نسبة الماء للأسمنت  $W/C = 0.452$ .

— نسبة الماء للأسمنت الدنيا  $= 0.45$

— وزن الأسمنت  $= 0.45 / 205 = 0.455$  كجم . تقريباً تؤخذ  $= 450$  كجم .

— من جدول (5-7) حجم الزلط للمتر المكعب  $= 0.69 \text{ م}^3$  .

وزن الزلط  $= 1.65 \times 0.69 = 1138.5$  كجم .

— تحديد محتوى الرمل (S) بالتطبيق في مقاومة الحجم المطلق .

$$\frac{0.205}{1} + \frac{0.45}{3.15} + \frac{1.1385}{2.68} + \frac{S}{2.6} = 1 - \frac{1.5}{100}$$

⊕ محتوى الرمل  $= 552$  كجم .

وحدة وزن الخرسانة النظرية  $= \gamma_{th}$  تقريباً  $= 2.350 \text{ طن/م}^3$

\* تم عمل خلطة خرسانية في المعمل وبقيا وحدة وزن الخرسانة في المعمل  $= \gamma_{exp} = 2.40 \text{ طن/م}^3$

وهذا يعنى أن الكميات المستخدمة لا تكفى لإنتاج  $1 \text{ م}^3$  ويتم إجراء التصحيحات التالية .

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{\gamma_{exp}}{\gamma_{th}} = 1.021$$

\* الزيادة في الكميات يجب أن تكون في الزلط والرمل مع الاحتفاظ بمحتوى الأسمنت والماء ثابت

— الزلط المعدل  $= 1.1385 \times 1.02 = 1.162$

— الرمل المعدل  $= 0.552 \times 1.02 = 0.563$

— وزن الأسمنت الذى كان مفترض أن ينقص  $= 0.021 \times 0.450 = 0.00945$  طن

∴ حجم الأسمنت الجامد  $= 3.15 / 0.00945 = 0.003$

— وزن الماء الذى كان من المفترض أن ينقص  $= 0.021 \times 0.205 = 0.0043$  طن

حجم الماء  $= 0.0043 \text{ م}^3$  .

∴ حجم الماء والأسمنت  $= 0.0043 + 0.003 = 0.0073 \text{ م}^3$  .

هذا الحجم يتم زيادته للركام .

يلاحظ أن نسبة الزلط : الرمل

$$= 1.1385 : 0.552$$

أى بنسبة 2 : 1

∴ الوزن النوعى للركام الشامل  $= 3 / (2.68 \times 2 + 2.60 \times 1) = 2.65$

∴ وزن الركام ذو الحجم المكافئ لحجم الماء والأسمنت الذى كان المفترض زيادته =

$$0.0192 = 2.65 \times 0.0073$$

وزن الرمل الإضافى  $= 3 / 1 \times 0.192 = 0.006$

وزن الزلط النهائى  $= 1.162 + 0.0132 = 1.1752$

وزن الرمل النهائى  $= 0.563 + 0.006 = 0.569$

∴ وحدة الوزن  $= 0.569 + 1.1752 + 0.450 + 0.205 = 2.399 \text{ طن/م}^3$

## تصميم الخلطة الخرسانية للمنشأ

— من جدول (3-5) محتوى الماء 195 كجم ، مقاومة الضغط 250

$$F_{cym} = 250 + 1.34(40) = 304$$

$$F_{cym} = 250 + 2.33(40) - 34.5 = 308$$

$$F_{cym} = 308 \text{ kg/cm}^2$$

من جدول (4-5) نسبة الماء للأسمنت  $\approx 0.53$

— محتوى الأسمنت =  $0.53/195 = 368$  كجم .

— لحساب محتوى الرمل

$$\frac{0.368}{3.15} + 0.195 + \frac{1.1385}{2.68} + \frac{S}{2.6} = 0.985$$

$$0.215 = \frac{S}{2.6}$$

محتوى الرمل = 646 كجم

الكثافة النظرية = 2.348

مثال (2) :

في المثال السابق اذا كانت الأساسات عبارة عن خوازيق يتم تنفيذها في بحيرة مريوط وكان تركيز أملاح الكلوريدات 40000 جزء في المليون وأملاح الكبريتات مقدرة ك  $SO_3 = 3000$  جزء في المليون صمم خلطة خرسانية بطريقة ACI لتلك الخوازيق مع اعتبار جميع المتغيرات الأخرى كما هي .

الحل يستخدم جدول (5-6) للخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكلوريدات والكبريتات فيكون نسبة الـ  $W/C = 0.40$  وتكون مقاومة الإسطوانة 350 كجم/سم<sup>2</sup> .

∴ نسبة الماء للأسمنت الدنيا = 0.40

المقاومة المميزه القصوى = 350 كجم/سم<sup>2</sup> .

$$F_{cym} = 350 + 1.34 (40) = 404$$

$$F_{cym} = 0.9 \times 350 + 2.33 (40) = 408$$

من جدول (4-5) للمقاومات .

∴ نسبة  $W/C$  للمقاومات = 0.412

تستخدم  $W/C = 0.40$

∴ محتوى الأسمنت =  $0.40/205 = 512$  كجم/سم<sup>2</sup> .

( محتوى الأسمنت عالى ويفضل استخدام مادة عالية التلدين )

يحسب محتوى الرمل S كما يلى .

$$\frac{0.512}{3.15} + \frac{0.205}{1} + \frac{S}{2.60} + \frac{1.1385}{2.68} = 0.985$$

محتوى الرمل = 500 كجم/م<sup>3</sup>

وحدة وزن الخرسانة = 2.355 طن/م<sup>3</sup>

مثال (3) : على طريقة المؤلف :

المطلوب تصميم الخلطة السابقة بطريقة المؤلف وجدول التحميل —ود المصري بفرض استخدام إضافات عالية تلدين بنسبة 1% من وزن الأسمنت واستخدام ركام مكسر. وان المقاومة المميزه لتصميم المنشأ للمكعب 300 كجم/سم<sup>2</sup>

— محتوى الماء (W0) للركام المكسر = 213 كجم (جدول 5-3) .  
محتوى الهواء للمحبوس = 1.5 %

— مقاومة ضغط المكعب الخرسانية =  $0.8/250 = 0.0032$  كجم/سم<sup>2</sup>

— الانحراف المعياري للمكعب =  $(0.8)/40 = 0.02$  كجم/سم<sup>2</sup>

— من جدول (5-21) للتحملية W/C = 0.40

— محتوى الأسمنت 400 كجم / م<sup>3</sup>

— مقاومة ضغط المكعب الدنيا = 400 كجم/سم<sup>2</sup> ( أكبر من المقاومة المميزه للتصميم)

∴ مقاومة الضغط القصوى = 400 كجم/سم<sup>2</sup>

مقاومة تصميم الخلطة =  $400 + 1.64(45) = 473.8$  كجم/سم<sup>2</sup>

لوس أنجليوس للركام التى تحقق هذه المقاومة = 22.5 % (جدول 5-24) نختار كسر الأحجار التى تحقق ذلك .

من جدول (5-22) نسبة الماء للأسمنت  $0.42 \cong$

∴ نسبة W/C الدنيا = 0.40

∴ محتوى الأسمنت =  $0.40/213 = 532.5$  (أولياً)

وزن الإضافة =  $532.5 \times 100/1 = 53250$  كجم .

بفرض للوزن النوعى للإضافة = 1.20

حجم الإضافة =  $1.2/5.3 = 4.4$  لتر يستخدم 5 لتر .

∴ محتوى الماء المكافئ للإضافات =  $5 \times 8 = 40$  لتر . (جدول 5-19)

∴ ماء الخلط (W) =  $(213) - (40) = 173$  لتر .

∴ وزن الأسمنت الفعلى =  $0.40/173 = 432.5$  لتر  $\cong 433$

من جدول (5-25) نسبة الرمل / الركام S/A

∴ محتوى الرمل (S) = 0.39 A

محتوى الركام الكبير (G) = 0.61 A

— بالتطبيق فى معادلة الحجم المطلق .

$$0.173 + \frac{0.4330}{3.15} + \frac{0.39A}{2.60} + \frac{0.61A}{2.68} + 0.005 = 0.985$$

$$S = 0.693 \text{ ton}$$

$$G = 1.084 \text{ ton}$$

— وحدة وزن الخرسانة = 2.39 طن / م<sup>3</sup>

مثال (4) على طريقة المؤلف :

المطلوب تصميم خاطة خرسانية مقاومة ضغط هذه الخلطة = 700 كجم/سم<sup>2</sup> وهبوطها 10 سم

والمقاس الإعتبارى الأكبر لكسر الأحجار 2/1 بوصه ومعايير النعومة للرمل 2.8 استخدم

خواص الركام السابق وأجرى التصحيحات اللازمه اذا علم أن الرمل به نسبة رطوبة 1.5 %

والإمتصاص للركام الكبير = 1% . (استخدم طريقة المؤلف)

— من جدول (5-18) محتوى الماء W0 = 222

— محتوى الهواء = 2.5

- المقاومة 700 كجم/سم<sup>2</sup> يستخدم كسر أحجار لوس أنجليوس له = 15 (جدول 5-24)
- يستخدم دولوميت وبفرض أن وزنه النوعي = 2.68
- من جدول (5-23) نسبة W/C = 0.285
- محتوى الأسمنت التجريبي =  $0.285/222 = 778$  هذا الأسمنت محتواه على جدا
- بفضل استخدام مواد عالية التلدين بمحتوى 1.5% بفرض أن الأسمنت 600 كجم/م<sup>3</sup>
- محتوى الإضافه باللتر  $1.2/600 \times 100/1.5 = 7.5$  لتر  $\approx 8$  لتر
- $\rho L = 8$  من جدول (5-19)  $\Delta w = 64$
- ∴ محتوى الماء  $W = 222 - 64 = 158$
- ∴ محتوى المواد الأسمنتية  $554 - 0.285/158$
- يستخدم 10% غبار سليكا = 55 كجم
- ∴ الأسمنت = 504 كجم/م<sup>3</sup>
- من جدول (5-25) لنسبة الرمل للركام  $S/A \approx 0.39$

$$S = (0.39)A.$$

$$G = (0.61)A \quad \text{ويكون الركام الكبير}$$

نفرض الوزن النوعي لغبار السليكا = 2.3

$$\frac{0.055}{2.3} + \frac{0.504}{3.15} + \frac{0.158}{1} + \frac{0.39A}{2.6} + \frac{0.61A}{2.68} + 0.008 = 0.975$$

الرمل (S) = 0.645 ، كسر الدولوميت = 1.01 طن/م<sup>3</sup>  
— تصحيح رطوبة الرمل .

$$\frac{X1}{S - X1} = \frac{1.50}{100} = \frac{X1}{0.645 - X1} \therefore X1 = 9.5 \text{ Kg}$$

— تصحيح امتصاص الركام X2

$$\frac{X2}{G} = \frac{1}{100} = \frac{X2}{10.1}$$

$$= 10.1 \text{ Kg}$$

— محتوى الرمل  $S1 = S + X1 = 654.5$  كجم/م<sup>3</sup>

محتوى الماء  $W1 = W - X1 + X2$

$$= 158 - 9.5 + 10.1 = 158.6 \text{ كجم/م}^3$$

وحدة وزن الخرسانة = وحدة الوزن قبل التصحيح + X2 = 2.391 طن/م<sup>3</sup>  
يتم عمل تجربة عملية وتصحيح وحدة الوزن والهبوط .

مثال (5) (الطريقة البريطانية):

- المطلوب تصميم خلطة خرسانية لمنشأ يتعرض لظروف عادية مقاومة المميزه للمكعب = 40 ن/مم<sup>2</sup> عند 28 يوم باستخدام أسمنت سريع التصلب وكان الهبوط المطلوب 150 مم وكان الوزن النوعي للركام الكبير المكسر 2.6 والرمل في المنطقة الثانية للتدرج والمقاس الاعتباري الأكبر 20 مم و الانحراف المعياري 5 ن/مم<sup>2</sup> .
- من جدول (5-17) محتوى الماء 225 كجم/م<sup>3</sup> .
- من جدول (5-16) للمقاومة عند 28 يوم = 53 ن/مم<sup>2</sup> .



- من شكل (5-10) من نقطة تقاطع نسبة  $W/C = 0.50$  ، مقاومة 53 كجم/سم<sup>2</sup> نرسم منحني (بين منحني مقاومة 80 ، 90 ن/م<sup>2</sup>) للعلاقة بين  $W/C$  ، مقاومة الضغط .
- مقاومة تصميم الخلطة =  $40 + 1.64(5.0) = 48.2$  ن/م<sup>2</sup> .
- من المنحني المرسوم عند مقاومة 53 .
- $\therefore W/C = 0.52$

محتوى الأسمنت =  $0.52/225 = 433$  كجم / م<sup>3</sup> .  
 من شكل (5-11) نجد أن وحدة وزن الخرسانة = 2390 كجم/م<sup>3</sup>  
 $\therefore$  وزن الركام =  $2390 - 225 - 433 = 1732$  كجم/م<sup>3</sup>  
 (يمكن استخدام معادلة الحجم المطلق بفرض الهواء صفر )

$$0.225 + \frac{0.433}{3.15} + \frac{A}{2.6} = 1$$

- $\therefore$  وزن الركام = 1593 كجم .
- من شكل (5-12) الهبوط 150 مم ونسبة ماء الى أسمنت 0.52 وللمنطقة (2) تكون نسبة الرمل للركام المتوسطة 41.5 %
- محتوى الرمل =  $1593 \times 0.415 = 661$  كجم/م<sup>3</sup> .
- محتوى كسر الأحجار = 932 كجم .

مثال 6 على ضبط الجودة :

- الجدول التالي يحتوى على نتائج 50 إختبار ضغط مكعب قياسي . إحكم على ضبط جودة تلك الخرسانة بناء على الكود المصرى والـ ACI .
- إحسب للمقاومة المميزه طبقاً للكود المصرى والـ ACI .

جدول قيم مقاومة الضغط كجم/سم<sup>2</sup> .

400	425	430	435	440	465	400	475	420	425
490	420	430	510	415	420	425	425	420	450
440	490	430	425	420	425	410	430	415	415
450	550	420	430	400	420	450	430	420	460
420	425	430	420	425	430	450	430	400	480

- المقاومة القصوى للمكعب = 550 كجم/سم<sup>2</sup> .
- المقاومة الدنيا للمكعب = 400 كجم/سم<sup>2</sup> .
- \* الكود المصرى .
- المقاومة المتوسطة للمكعب = 436 كجم /سم<sup>2</sup> .
- الإنحراف المعيارى 6 = 21 كجم/سم<sup>2</sup> .
- معامل التغير =  $436/21 = 4.816$  % .
- التحكم ممتاز (جدول 5-28) .
- المقاومة المميزه للمكعب = المقاومة المتوسطة -  $1.64(6)$  .
- $436 - 1.64(21) = 401.56$

لكن الكود ينص على أن لا يقل هامش الأمان عن 65 كجم/سم<sup>2</sup> .

∴ المقاومة المميزة = 436 - 65 = 371 كجم/سم<sup>2</sup> .  
طبقاً للـ ACI .

مقاومة الإسطوانة المتوسطة =  $0.8 \times 436 = 348.8$

— الإنحراف المعياري =  $21 \times (0.8)^{2/1} \cong 19$

مقاومة الإسطوانة المميزة =  $348.8 - 1.34 \times 19 = 321.6 \cong 323$  كجم/سم<sup>2</sup> .

مقاومة الإسطوانة المميزة =  $348.8 - 2.33(19) + 34.5 = 339$  كجم/سم<sup>2</sup> .

∴ مقاومة الإسطوانة المميزة لهذا المشروع = 323 كجم/سم<sup>2</sup> .

مثال (7) :

المطلوب حساب مقاومة تصميم خلطة خرسانية مقاومة ضغط المكعب المميزة = 400 كجم/سم<sup>2</sup> (يتم الحل بالكود المصري و ACI) إذا علم أن هذا المشروع سيتم تنفيذه بنفس خامات وأسلوب المشروع نو النتائج في المثال السابق .  
— الكود المصري .

$$F_{cum} = f_{cu} + 1.64 \sigma \quad (\sigma \approx 40 \text{ kg/cm}^2)$$

$$F_{cum} = 400 + 1.64 (21) .$$

الكود المصري ينص على أن الإنحراف المعياري لا يقل عن 40 كجم/سم<sup>2</sup>

$$= 400 + 1.64 (40) .$$

$$= 465 \text{ kg/cm}^2 .$$

— طبقاً للـ ACI .

$$F_{cy} = 0.8 (400) = 320 \text{ kg/cm}^2 .$$

$$F_{cym1} = 320 + 1.34 (19) = 346 .$$

$$F_{cym2} = 320 + 2.33 (19) - 34.5 = 330 .$$

$$F_{cym} (\text{المقاومة التصميمية للخلطة}) = 346 \text{ kg/cm}^2 .$$



## الباب السادس

### تحميلية الخرسانة (Durability of Concrete)

1-6 عام:

إن الخرسانة بعد تمام شكمها وتصلبها تتعرض للأحمال والقوى الخارجية الناشئة عن وزن المنشأ والأحمال المتحركة والرياح والزلازل وغيرها. وهي يتم تناولها من جهة تحقيق المقاومة والممتولية وباقي الخواص الميكانيكية، ثم توضع شروط التصميم النظري لكل جزء من أجزاء المبنى. وعلى الجانب الآخر يتعرض المنشأ لعوامل المهاجمة المختلفة، والتي يمكن تلخيصها في الآتي:

أ- المهاجمة الكيميائية، والتي تنقسم إلى:

1. المهاجمة بالكبريتات.
2. المهاجمة بماء البحر.
3. النض والتزهير والكربنة.
4. المهاجمة بالغازات.
5. الأحماض والقلويات.
6. صدأ صلب التسليح.
7. التفاعل القلوي للركام.

ب- المهاجمة الميكانيكية:

1. التلج ونوبانه.
2. البلل والجفاف.
3. التغيرات الجوية.
4. التآكل بالبرى والنحر والاحتكاك.

ج- الحريق.

وهذه العوامل السابق ذكرها قد يكون لها الفعل الأكثر تأثيراً على المنشأ مقارنة بالأحمال الخارجية التي يسهل التعامل معها، لأن هذه العوامل المهاجمة قد يتولد عنها شروخ أو تقننت أو فقد للغطاء الخرساني لصلب التسليح، وبالتالي يتأثر قطاع المنشأ وتزيد الإجهادات الناتجة عن الأحمال الخارجية الواقعة عليه، مما قد يؤدي إلى حدوث شروخ أو انهيار أو فقد المنشأ لأداء وظيفته التي أنشأ من أجلها. وعلى هذا يمكن تعريف خاصية التحملية (أو التحمل) (Durability) للخرسانة بأنها الخاصية التي تعبر عن تحمل الخرسانة للظروف الخارجية أو الداخلية، الكيميائية أو الميكانيكية المحيطة بها أو الحريق، ومقدرتها على الاحتفاظ بشكلها الخارجى وتجانسها وعدم فقدها لمقاومتها وعدم حدوث شروخ أو تقننت أو انهيار جزئى أو كلى بها.

فكلما احتفظ المنشأ بشكله المعماري وقام بأداء وظائفه وأهمها الوظائف الإنشائية، دون حدوث أضرار أو فقد لجزء من جساءة عضو من أعضائه أو فقد لمقاومته، قيل أن هذا المنشأ تحمليته جيدة. بينما إذا كانت الخرسانة عندها قابلية سريعة لظهور الشروخ وظهور التقننت وفقد المقاومة، قيل أن تحمليتها ضعيفة. وبذلك نجد أن التحملية خاصية نسبية فنقول تحمليه جيدة أو تحمليه مقبولة أو تحمليه ضعيفة.

ويمكن الحكم على التحمل في المعمل من خلال قياس الفقد في الوزن أو الفقد في المقاومة لو قياس للتمدد في عينات معملية، مع ملاحظة تدوين حدوث تآكل أو تقشير أو شروخ أو تفتت في هذه العينات المختبرة.

أما بالنسبة للمنشآت في الموقع فيتم عمل تفنّيش دورى عليها. ويتم الاستعانة بفحص بصرى من خبير يدون خلال هذا الفحص شكل وطبيعة الشروخ التى تظهر بالخرسانة وتصويرها. ويمكن أخذ عينات من المبنى وعمل اختبار الضغط والتحليل الكيميائى عليها والتصوير الميكروسكوبى والفحص بالأشعة السينية، لتحديد مقاومة الضغط وشكل التكوين الداخلى والمركبات الكيميائية للخرسانة على الترتيب، ومقارنتها بوضع وخواص المنشأ عند تنفيذه. كما يمكن الاستعانة بالاختبارات الغير متلفة لتحديد إمكانية وجود صدأ صلب التسليح أو تحديد مقاومة الخرسانة..... الخ.

والآن سنتناول المهاجمة الكيميائية، والتي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بنفاذية الخرسانة.

## 2-6 نفاذية الخرسانة (Permeability of Concrete):

هى الخاصية التى تعبر عن حركة السوائل أو الغازات داخل الخرسانة. حيث أن الخرسانة يتطلب فيها أحياناً أن تكون غير منفذة مثل الخرسانة المستخدمة فى خزانات الماء والسوائل. وكلما كانت الخرسانة ذات نفاذية عالية، كانت حركة السوائل والأبخرة سهلة مما يعرضها للمهاجمات الكيميائية والميكانيكية، نتيجة نفاذ الماء حاملاً معه الأملاح الضارة، أو دخول الأكسجين وثنائى أكسيد الكربون إلى داخل الخرسانة، مما يجعل ظهور صدأ صلب التسليح.

إن حركة الماء داخل الخرسانة ليس شرط أن تحدث نتيجة فرق فى ضغط الماء، ولكن يمكن حدوثها نتيجة وجود اختلاف فى نسبة الرطوبة بين الأماكن المختلفة فى الخرسانة. ويمكن الحكم عليها بنظرية الانتشار (Diffusion Theory).

إن المونة الأسمنتية والركام كلاهما يحتوى على نسبة من الفراغات، هذا بالإضافة للفراغات التى تحدث بينهما. ومنظومة الفراغات مجتمعة تؤدي إلى زيادة نفاذية الخرسانة أو نقصها. وهذا يتوقف أساساً على مدى اتصال نظام الفراغات الداخلية من عدمه.

فعامة كلما زادت النسبة المئوية للفراغات تزيد النفاذية. ولكن أهم من ذلك طبيعة الفراغات، فهل الفراغات غير شعيرية (أى غير متصلة) أو فراغات شعيرية (أى متصلة). فوجود نسبة عالية من الفراغات للشعيرية يؤدي إلى وجود شبكة داخلية من الفراغات تزيد من نفاذية الخرسانة. والعكس صحيح؛ لو قلت أو تلاشت الفراغات الشعيرية تقل النفاذية، انظر شكل (1-6).

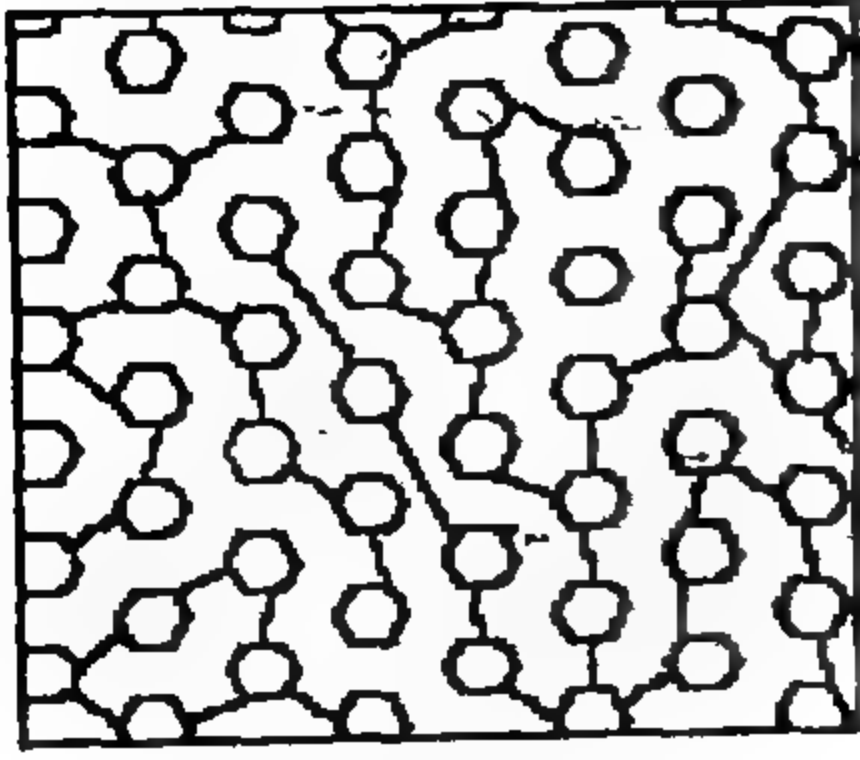
## 2-6-1 العوامل المؤثرة على النفاذية:

### 1- نسبة الماء إلى الأسمنت:

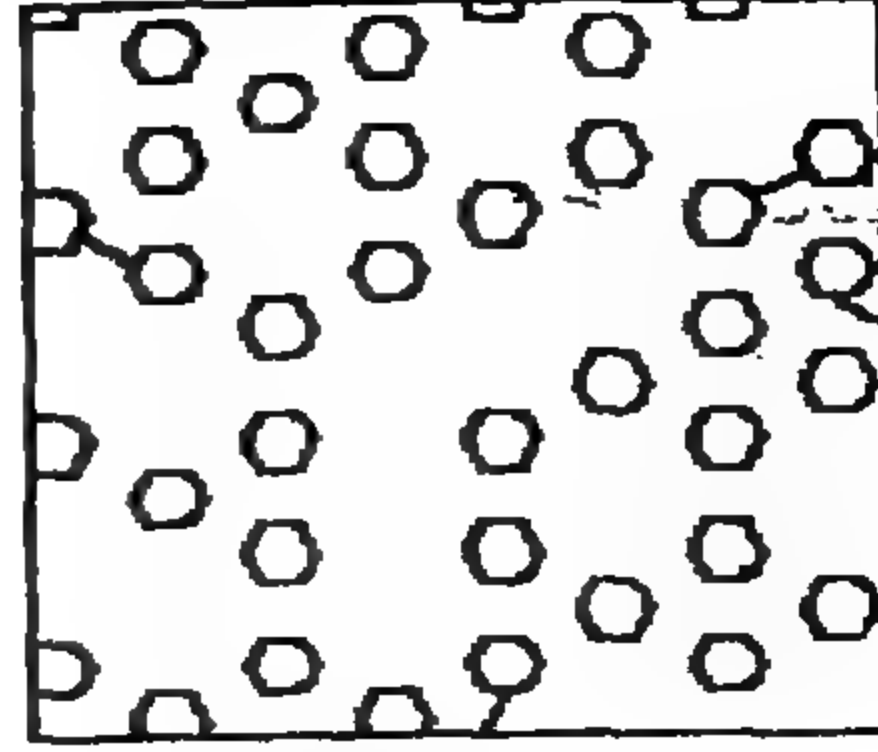
يعتبر هذا العامل من أهم العوامل. ويتضح ذلك من شكل رقم (1-6)، حيث أنه كلما زادت نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C)، يقل تركيز الجل فى الخرسانة وتزيد الفراغات الشعيرية المتصلة، وبالتالي يزداد معامل النفاذية. والعكس صحيح؛ فكلما قلت نسبة W/C، يزداد تركيز الجل فى الخرسانة وتقل نسبة الفراغات الشعيرية، فتقل نفاذية الخرسانة. ومما هو جدير بالذكر أن الخرسانة الكثيفة الغنية تحقق معامل نفاذية صغير جداً، مقارنة بصخور مثل الرخام والجرانيت. ولذلك فإن الاهتمام بصناعة الخرسانة من الممكن أن يحقق خرسانة غير منفذة للماء.



## فراغات غير شعيرية فراغات شعيرية



خرسانة  
W/C=0.70  
C=400 Kg/m<sup>3</sup>



خرسانة  
W/C=0.40  
C=400 Kg/m<sup>3</sup>

W/C (water cement ratio)  
C (cement content)

شكل رقم (1-6) تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على الفراغات الشعيرية والغير شعيرية

### 2- تأثير المعالجة:

إن للمعالجة دور هام في تقليل نفذية الخرسانة، حيث أن المعالجة تعمل على استمرارية تكون الجل. وبالتالي يقوم الجل بكسر استمرارية شبكة الفراغات الشعيرية الداخلية للخرسانة. فيعمل على إقلال النفذية. ويتضح ذلك من جدول (1-6)؛ والذي يوضح زمن المعالجة اللازم للوصول إلى خرسانة غير منفذة.

جدول رقم (1-6) الزمن اللازم للوصول إلى شبكة فراغات شعيرية غير متصلة .

زمن المعالجة المستمر اللازم (يوم)	نسبة W/C
3	0.40
7	0.45
28	0.50
180	0.60
365	0.70
لا يمكن تحقيقه	أكثر من 0.70

والجدول السابق يوضح أنه إذا زادت نسبة W/C عن 0.70، فإنه من الصعب الوصول لخرسانة غير منفذة مهما تم الاهتمام بالمعالجة. وعلى المهندس ألا ينسى أن هذا الأمر تم دراسته في المعمل. ففي الحقل تتخفض هذه النسبة، وربما تصل إلى 0.55. وهذا يوضح لنا ويفسر كيف أن أغلب المنشآت السكنية تكون بلاطات الأسقف النهائية لها منفذة للماء بطريقة واضحة.

وهذا الجدول يوضح أيضاً أنه في حالة تعرض الخرسانة لظروف خارجية مثل مهاجمة الأملاح، فإنه من المفضل ألا تزيد نسبة الماء للأسمنت عن 0.45، حيث أن المعالجة في الموقع تكون في حدود 7 أيام.

3- عمر الخرسانة:  
بالطبع فإن عمر الخرسانة له دور كبير في نفاذية الخرسانة. حيث أن الخرسانات الطازجة تكون فراغاتها متصلة. ومع مرور الزمن يبدأ الجبل (سليكات الكالسيوم المماهة) وهيدروكسيد الكالسيوم في ملء جزء من تلك الفراغات. ومع مرور الزمن يمكن أن يقطع الجبل المتكون شبكة الفراغات المتصلة، ويقل معامل النفاذية لأقل درجة. ويتضح ذلك من جدول (2-6).

جدول رقم (2-6) تأثير عمر الخرسانة على نفاذية مونة الأسمنت  $W/C = 0.51$

عمر الخرسانة (يوم)	معامل النفاذية (متر/ثانية)
طازجة	10-5
1	10-8
3	10-9
4	10-10
7	10-11
14	10-12
28	10-13
100	10-16
240	10-18

4- وهناك عدة عوامل أخرى منها:  
المقاس الاعتباري الأكبر للركام؛ والذي أثبتت الأبحاث أنه كلما زاد أدى ذلك لزيادة معامل نفاذية الخرسانة. وكذلك نعومة الأسمنت؛ التي كلما زادت فإن الخرسانة تقل نفاذيتها لحسن انتشار وتوزيع الجبل داخل الخرسانة. ويعتبر استخدام المواد الملدنة والمواد عالية التلدين (Plasticizer and Super-Plasticizer) من العوامل المساعدة على تقليل نفاذية الخرسانة، حيث أنها تسمح بتخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت.  
وقد أثبتت الأبحاث أن إضافة غبار السليكا بنسبة تتراوح بين 8، 12% من وزن الأسمنت يقلل من نفاذية الخرسانة. حيث أنه يتحد مع أكسيد الكالسيوم مكوناً جل. ويعمل غبار السليكا على ملء الفراغات الصغيرة، حيث إن قطر حبيبة غبار السليكا صغيرة لدرجة كبيرة جداً. كما أن دمك الخرسانة الجيد يقلل نسبة الفراغات الموجودة بالخرسانة ويحسن من كثافة الخرسانة.

## 2-2-6 اختبارات النفاذية:

وعموماً فإن معامل نفاذية الخرسانة يمكن قياسه معملياً عن طريق استخدام قانون دارسي للسريان  $Q = AK \frac{H}{t}$ .

حيث  $A$  مساحة مقطع العينة و  $K$  معامل نفاذية الخرسانة و  $H$  لارتفاع الماء (ضغط السائل)،  $t$  سمك العينة. ويتم الاختبار عن طريقة تعريض بلاطة بسمك صغير  $t$  من الخرسانة لضغط ماء على سطح السائل ثم يتم تجميع الماء المار.  
وفي المواصفات الألمانية بحسب  $K$  بتعريض عينة خرسانية لنفاذية ماء تحت ضغط قياسي معين لفترة معينة، ثم تؤخذ عينة الخرسانة وتكسر بتحميلها في الضغط خطياً، ليحدث انفصال

بها. وبفحصها بصرياً نحدد سمك اختراق الماء للخرسانة. وباستخدام نظرية الانتشار يحدد معامل نفاذية الخرسانة.

### 3-2-6 اختبار الامتصاص والوزن النوعي للخرسانة :

- توضع عينات جافة في الماء لمدة 48 ساعة، ثم تعرض لماء مغلي لفترة قياسية. ومنها النسبة المئوية للامتصاص الطبيعي والامتصاص الكامل ونسبة الفراغات، بالإضافة إلى الوزن النوعي والحجمي طبقاً لمواصفات (ASTM C 642) والتي ستذكر فكرتها فيما يلي:
1. تجفف العينة في فرن التجفيف حتى يثبت وزنها، ثم توزن جافة وليكن وزنها (A).
  2. تغمر عينة الخرسانة في الماء لمدة 48 ساعة، ثم يجفف سطحها وتوزن (B).
  3. تغمر الخرسانة في الماء ويرفع درجة حرارته بطريقة قياسية ويترك في الماء المغلي لمدة 5 ساعات، ثم يبرد بطريقة قياسية، ثم يجفف سطحها وتوزن بعد تجفيف سطحها (C).
  4. توزن العينة في ماء في درجة الحرارة العادية معلقة وليكن الوزن (D).

— الامتصاص الطبيعي:

$$\text{Absorption after immersion \%} = ((B - A) / A) \times 100 \quad \dots\dots\dots (1-6)$$

— الامتصاص الكامل:

$$\text{Absorption after immersion and boiling \%} = ((C - A) / A) \times 100 \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

— الوزن النوعي الشامل:

$$\text{Bulk sp. gr. dry} = A / (C - D) = g_1 \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

— الوزن النوعي الظاهري:

$$\text{Apparent sp. gr. dry} = A / (A - D) = g_2 \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

— النسبة المئوية للفراغات الشعرية:

$$(C - A) / (C - D) \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-6)$$

$$\text{معامل التشبع} = \frac{\% \text{ للامتصاص الطبيعي}}{\% \text{ للامتصاص الكامل}} \quad \text{(موجودة في المواصفات المصرية فقط)} \quad \dots\dots\dots (6-6)$$

وكلما كان الامتصاص الطبيعي متقارب مع الامتصاص الكامل، دل ذلك على زيادة نفاذية الخرسانة، والعكس صحيح.

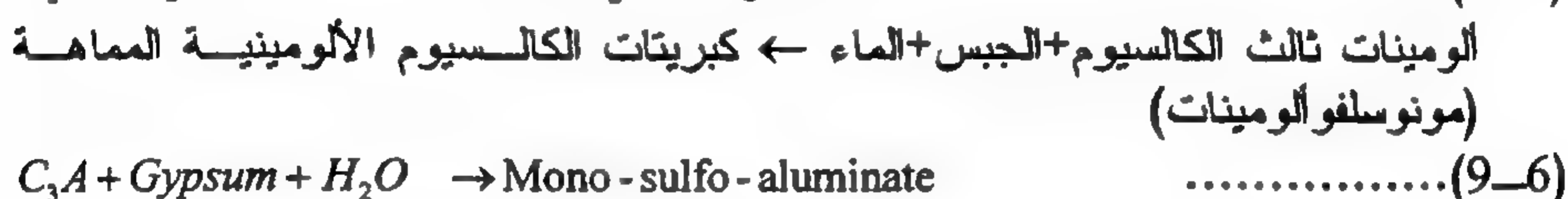
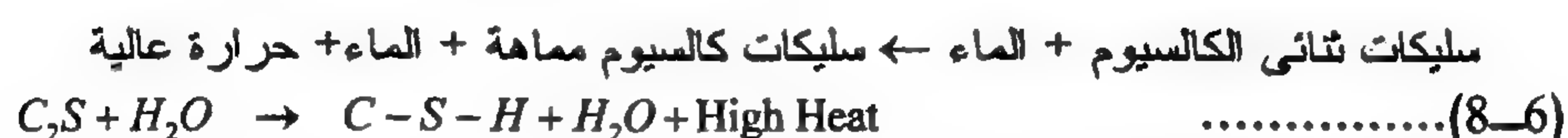
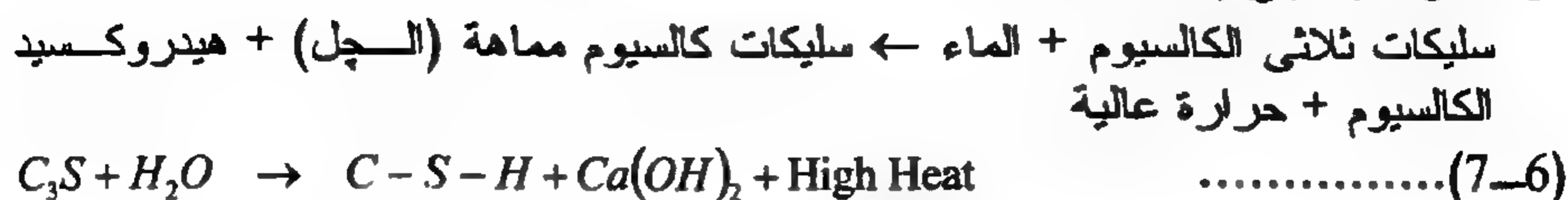
### 3-6 مهاجمة الخرسانة بالكيماويات:

#### 3-6-1 إماهة الأسمنت:

تتعرض الخرسانة في الطبيعة في بعض الأعمال الإنشائية إلى مجموعة مختلفة من الكيماويات. وتقاوم الخرسانة تلك الكيماويات حسب طبيعة المادة المهاجمة وتركيزها والاحتياطات التي يقوم بها المهندس. وحتى يمكن للمهندس تتبع سلوك الخرسانة عند مهاجمتها بالكيماويات، سنستعرض فيما يلي كلاً من تركيب الأسمنت وإماهة الأسمنت مختصراً. ويمكن الرجوع لباب الأسمنت للاطلاع على المعادلات الكيميائية الموزونة. تركيب الأسمنت:

يحتوي الأسمنت المعبأ أو السائب على المركبات الكيميائية التالية:

- سليكات ثلاثى الكالسيوم  $C_3S$ .
  - سليكات ثنائى الكالسيوم  $C_2S$ .
  - ألومينات رباعى حديد الكالسيوم  $C_4AF$ .
  - ألومينات ثلاثى الكالسيوم  $C_3A$ .
- والتركيبين الأولين لهما التأثير الرئيسى لإكساب الخرسانة اللدونة فى حالتها الطازجة، وإكسابها مقاومتها فى الضغط والشد عندما تتصلب الخرسانة. وسنتناول فيما يلى إمالة الأسمنت:



مما سبق يتضح أن الخرسانة بعد إمالة الأسمنت تحتوى على هيدروكسيد الكالسيوم؛ وهو مادة بلورية تكسب الخرسانة وسطها القلوى الذى يحافظ على صلب التسليح بدون صدأ. وتحتوى على جل الأسمنت (C-S-H)؛ وهى المادة التى تحقق للخرسانة مقاومتها. وتحتوى كذلك على مادة مونوسلفوألومينات (كبريتات كالسيوم ألومينية ممالة). وهذه المادة تساعد جزئياً فى إكساب الخرسانة مقاومة مبكرة. بالإضافة إلى سليكات ثلاثى الكالسيوم؛ وهذه المادة لها دور هام جداً كذلك فى مقاومة انتشار ودخول أيونات الكلوريدات من الأوساط المحيطة إلى داخل الخرسانة، فيحمى الخرسانة المسلحة من احتمال حدوث صدأ.

### 6-3-2 مهاجمة الخرسانة بالكبريتات:

تتواجد الكبريتات فى صورة محاليل فى التربة أو الماء الجوفى أو على هيئة محاليل صناعية. ومن أمثلتها محلول كبريتات الصوديوم وكبريتات المغنسيوم وكبريتات الكالسيوم. ويمكن تلخيص مهاجمة الخرسانة بالكبريتات كما يلى:

#### 1- تكون الجبس:

تهاجم الكبريتات الموجودة فى الماء الجوفى هيدروكسيد الكالسيوم كما يلى:

كبريتات الصوديوم (كمثال) + هيدروكسيد الكالسيوم (موجود فى الخرسانة) ← هيدروكسيد صوديوم + كبريتات الكالسيوم (جبس)  $\dots\dots\dots(10-6)$

والجبس الناتج من هذا التفاعل يتميز أن حجمه كبير، مما يولد ضغطاً داخل الخرسانة.

#### 2- تكون ملح الأترنجيت:

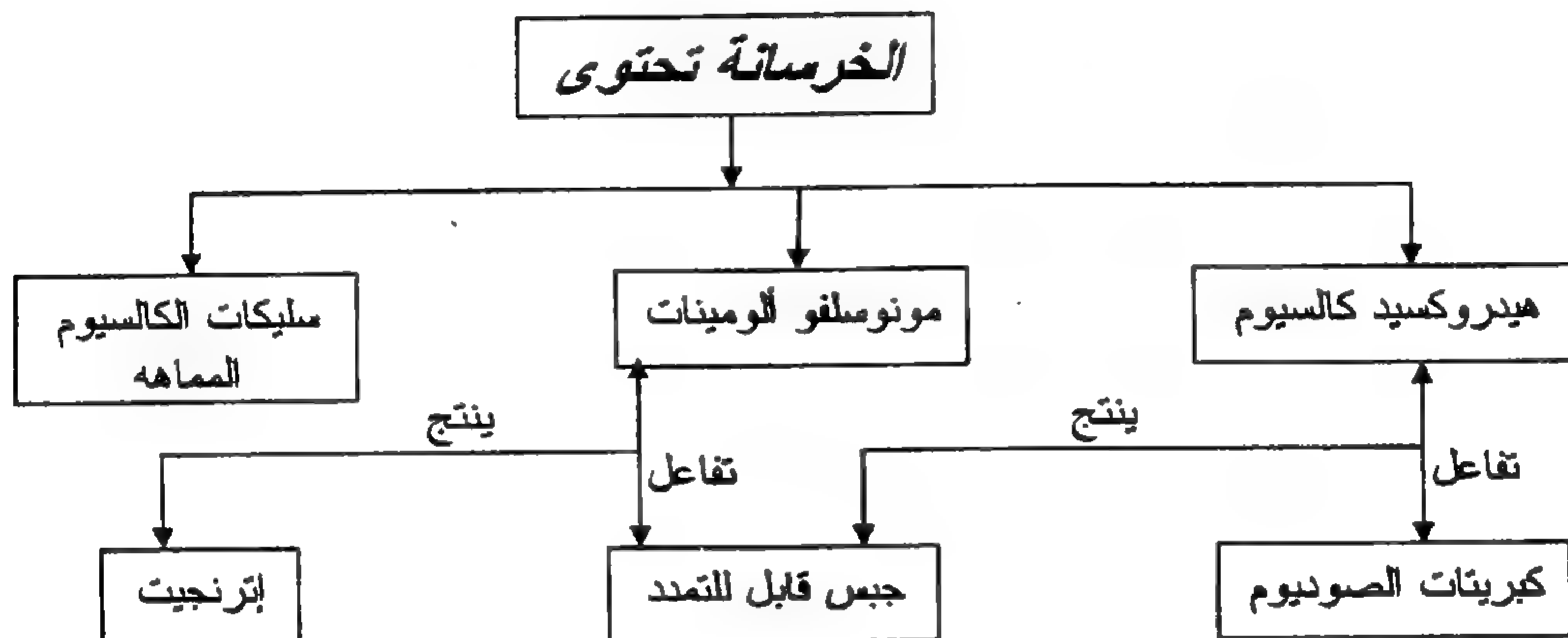
كبريتات الكالسيوم (ناتجة من التفاعل السابق) + مونوسلفوألومينات (موجودة فى الخرسانة) ← الأترنجيت (كبريتات كالسيوم ألومينية ممالة)  $\dots\dots\dots(11-6)$

والأترنجيت المتكون يحتوى على 32 جزء ماء فى تركيبه الكيميائى ويتميز بحجمه الكبير جداً إذا ما قورن بالمواد الداخلة فى التفاعل. وشكل (6-2) يوضح نموذج لتلك المهاجمة.



مما سبق يتضح أن وجود الكبريتات في الأوساط المحيطة بالخرسانة يؤدي إلى تكون الجبس والأترنجيت. وهذه المواد تؤدي إلى زيادة حجم الخرسانة المتصلدة. ويمكن اعتبار أن عنصر الأترنجيت مماثل لفعل الخلايا السرطانية، حيث تتحول المواد الأسمنتية إلى مواد تؤدي إلى تفتت الخرسانة. فإذا تواجبت الكبريتات بتركيزات عالية تزيد كمية الجبس والأترنجيت المتكون وتزيد الضغوط الناشئة عن الزيادة الحجمية، مما يؤدي إلى ظهور الشروخ في داخل الخرسانة وتفقد الخرسانة جزء من مقاومتها.

وعمل مهاجمة كبريتات المغنسيوم حالة خاصة حيث أن تلك الكبريتات بالإضافة إلى الفعل السابق ذكره تهاجم جل الأسمنت، وتحول أجزاء منه إلى مادة غير أسمنتية. ولذلك يجب على المهندس التفريق بالتحليل الكيميائي للماء الجوفي بين الأنواع المختلفة للكبريتات.



شكل رقم ( 6-2 ) نموذج لمهاجمة الخرسانة بالكبريتات

### 6-3-2-1 العوامل التي تؤدي إلى سرعة مهاجمة الكبريتات:

- 1- تركيز الكبريتات: كلما زاد تركيز الكبريتات في الأوساط المحيطة يزيد الفعل السلبى للكبريتات على الخرسانة. انظر جدول (6-3)، والذي يوصى به الكود المصرى للخرسانة، والذي يقسم مستوى المهاجمة كدالة من ثالث أكسيد الكبريت.
- 2- تعرض الخرسانة إلى ضغط مياه كبير: قد تتعرض للخرسانة في الطبيعة إلى ضغط الماء الجوفى المحيط كما في حالة الخزانات الأرضية أو الأنفاق مما يعجل من مهاجمة الكبريتات. وفي تلك الحالة يفضل عزل تلك المنشآت عن الماء الجوفى.
- 3- تعرض الخرسانة لعمليات البلل والجفاف المتتالية: يعجل كثيراً من مهاجمة الكبريتات للخرسانة.
- 4- حركة المياه الجوفية: للمياه المتحركة بسرعة تعجل من مهاجمة الكبريتات للخرسانة، حيث أنها تعمل على نوبان بعض مكونات التفاعلات.



جدول (6-3) متطلبات الخرسانة المعرضة للكبريتات

الحد الأدنى للمقاومة المميزة $N/mm^2$	الحد الأقصى لنسبة الماء:الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت			نوع الأسمنت	تركز الكبريتات في صورة ثالث أكسيد الكبريت		
		المقاس الاعتيارى الأكبر للركام - مم				فى التربة		فى الماء الأرضى
		10	20	32		جزء فى المليون	$SO_3$ فى مزيج من الماء والتربة بنسبة 1: 2 جم/لتر	$SO_3$ الكلى %
—	0.52	400	400	350	بورتلاندى CEMI	$300 >$	$1.00 >$	$0.20 >$
25	0.50	400	400	350	بورتلاندى CEMI أو متوسط الحرارة	-300 700	-1.00 1.50	-0.20 0.35
30	0.45	400	400	350	مقاوم للكبريتات أو متوسط الحرارة	-700 1200	-1.50 1.90	-0.35 0.50
35	0.43	450	450	400	مقاوم للكبريتات	-1200 2500	-1.90 3.10	-0.50 1.00
40	0.40	450	450	400	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	-2500 5000	-3.10 5.60	-1.00 2.00

### 6-3-2 الاحتياطات اللازمة لتقليل المهاجمة بالكبريتات:

1. استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات:  
حيث أن تلك الأسمنت يتميز بأن نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم  $C_3A$  صغيرة ، أى أقل من أو يساوى 3.5%. وهذه الكمية صغيرة إذا قورنت بالأسمنت البورتلاندى العادى والذى تتراوح فيه بين 8 ، 13% ، وبالتالي تقل كمية الأترنجيت والجبس المتكونان ، وبالتالي يقل تأثير الكبريتات فى حالة استخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات.
2. إضافة المواد البوزولانية للأسمنت:  
يمكن للمهندس إضافة مواد بوزولانية مثل غبار السليكا أو الميكاكاولين أو الرماد الطائر (Fly Ash) الى الخرسانة لتحسين أداء الخرسانة فى حالة وجود الكبريتات. وقد

- اتفقت نتائج الأبحاث التي تم إجراؤها على أن استخدام المواد البوزولانية تحسن من تحمل الخرسانة لكبريتات الصوديوم، وذلك عن طريق تحويل هيدروكسيد الكالسيوم إلى جل. مادة بوزولانية + هيدروكسيد الكالسيوم (موجود بالخرسانة) ← جل أسمن ... (6-11) وبالتالي يقل الجبس والأترنجيت نظراً لنقص هيدروكسيد الكالسيوم. واختلفت الأبحاث على تأثير غبار السليكا على تحمل الخرسانة المعرضة لمهاجمة كبريتات الماغنسيوم. ومعظم تلك الأبحاث توصلت إلى أن غبار السليكا له عامل سلبي على سلوك الخرسانة في تلك الحالة. وسوف يتم تناول تأثير الإضافات المعدنية بالتفصيل في باب الإضافات.
3. استخدام خرسانة لها معامل نفذية صغير.
  4. استخدام أقل نسبة ممكنة من W/C، انظر جدول (6-3) الذي يوضح نقص W/C مع زيادة تركيز الكبريتات.
  5. استخدام خرسانة ذات كثافة عالية.
  6. استخدام خلطة خرسانية غنية نسبياً بالأسمنت (زيادة محتوى الأسمنت)، انظر جدول (6-3).
  7. المعالجة بالبخر.
  8. المعالجة السطحية من الخارج لتقليل النفذية.

#### 4-6 ظاهرة الكربنة والإزهار (Carbonation and Efflorescence):

يوجد ثاني أكسيد الكربون في الأجواء المحيطة بالخرسانة. ويبدأ هذا الغاز في النفاذ داخل الخرسانة ويهاجم الخرسانة كما يلي:

ثاني أكسيد الكربون + هيدروكسيد الكالسيوم (موجود بالخرسانة) ← كربونات كالسيوم + ماء

وهذا الملح غير قابل للذوبان في الماء لكنه يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون كما يلي:

كربونات كالسيوم + ثاني أكسيد الكربون ← بيكربونات كالسيوم ..... (6-13)

وملح بيكربونات الكالسيوم قابل للذوبان في الماء، حيث يذوب ويتم خروجه من على سطح الخرسانة نتيجة الأمطار أو الماء الجوفى. وإذا تجمع الملح سواء كربونات الكالسيوم أو بيكربونات الكالسيوم مكوناً بقع بيضاء على السطح الخارجى للخرسانة، يسمى ذلك بظاهرة الإزهار (Efflorescence).

وقد يسلك تفاعل ثاني أكسيد الكربون طريقاً آخر كما يلي:

ثاني أكسيد الكربون + ماء (بالخرسانة) ← حمض كربونيك ..... (6-14)

حمض كربونيك + هيدروكسيد كالسيوم ← كربونات كالسيوم + ماء ..... (6-15)

وكربونات الكالسيوم تتحول كما سبق ذكره إلى بيكربونات الكالسيوم.

مما سبق يتضح أن ظاهرة الكربنة هي تحول هيدروكسيد الكالسيوم إلى مادة أخرى هي كربونات الكالسيوم أو بيكربونات الكالسيوم، وبالتالي تقل قلوية الخرسانة (PH).

#### 5-6 المهاجمة بالأحماض (Acid Attacks):

تتواجد لبخرة الأحماض مثل ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) وثاني أكسيد الكبريت (SO<sub>2</sub>) في الأجواء المحيطة بالخرسانة. فيسبب إذابة وإزالة جزء من الأسمنت الذى شك (عن طريق إذابة هيدروكسيد الكالسيوم). ويحدث ذلك في المداخل وأنفاق السكك الحديدية.

وعموماً لا يوجد أسمنت مقاوم للأحماض، وإنما يتم أخذ احتياطات لتقليل هذا التآكل. ويمكن اللجوء للخرسانة البوليمرية في تلك الحالة. ويمكن تقسيم مهاجمة الماء الحامض للخرسانة طبقاً لـ DIN 4030 كما بجدول (4-6).

جدول (4-6) أنواع المهاجمة بالماء الحامض

الماء الحامض		درجة المهاجمة
CO <sub>2</sub> جزء في المليون	PH	
30-15	6.5-5.5	ضعيف
60-30	5.5-4.5	قاسى
60<	4.5>	قاسى جداً

وفي شبكات الصرف الصحي تتحول مركبات الكبريت (Sulfur Compounds) بواسطة البكتيريا اللاهوائية إلى كبريتيد الهيدروجين، الذى يتأكسد بواسطة البكتيريا الهوائية للأجزاء الغير مغمورة بالماء، ويتحول إلى حمض الكبريتيك (Sulfuric Acid)، الذى يهاجم تلك الشبكات الخرسانية ويحدث لها تآكل وتحلل.

ويمكن تحسين مقاومة الخرسانة للأحماض وذلك بمعالجة الخرسانة بسليكات الصوديوم التى تتحد مع هيدروكسيد الكالسيوم، وتتكون سليكات الكالسيوم التى تقلل النفاذية. وفي حالة الخرسانة سابقة الصب يمكن تحسين مقاومتها للأحماض عن طريق حمايتها بواسطة تعريضها للتفريغ بواسطة غاز Silicon Tetra-Fluoride، الذى يتفاعل مع الجير وينتج مادة غير منفذة.



## 6-6 مهاجمة الخرسانة بماء البحر:

### 6-6-1 عام:

النموذج المبين بشكل (3-6) يوضح أحد المنشآت البحرية، مثل حواجز الأمواج أو الأرصفة. ويوضح عليه مناطق التأثير بماء البحر، حيث تنقسم إلى ثلاثة مناطق. المنطقة الأولى هي المنطقة التى تكون دائماً أعلى من ماء البحر. والمنطقة الثانية هي المنطقة التى تقع بين أعلى منسوب لماء البحر وأدنى منسوب لماء البحر. والمنطقة الثالثة هي المنطقة التى تكون مغمورة دائماً تحت ماء البحر. وسنتناول فيما يلى كيفية مهاجمة المناطق الثلاثة.

#### • المنطقة الأولى (I):

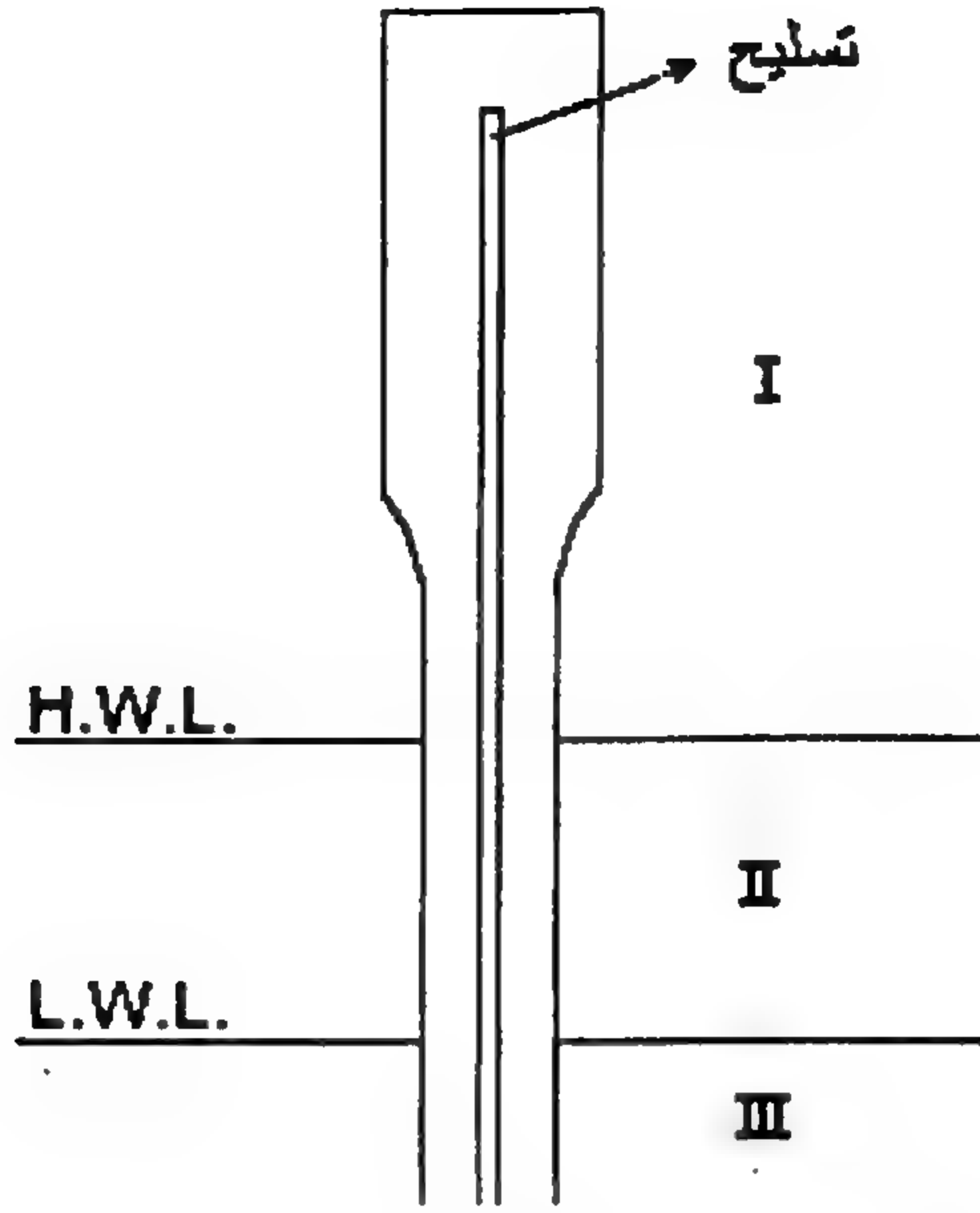
تهاجم تلك المنطقة كيميائياً بماء البحر المتصاعد إلى أعلى بالخاصية الشعرية أو بالأمواج العالية، وتهاجم ميكانيكياً بالبلل والجفاف والأمواج العالية وصدا صلب التسليح.

#### • المنطقة الثانية (II):

تهاجم تلك المنطقة كيميائياً بماء البحر، وميكانيكياً بالأمواج وما تحمله من عوالق مثل الرمال وغيرها. وتهاجم ميكانيكياً أيضاً بتكون الثلج وذوبانه فى المناطق الباردة. كما تهاجم بالتفاعل القلوى للركام أو بصدا صلب التسليح.

#### • المنطقة الثالثة (III):

تهاجم تلك المنطقة كيميائياً بماء البحر.



شكل (3-6) نموذج لمهاجمة الخرسانة بماء البحر

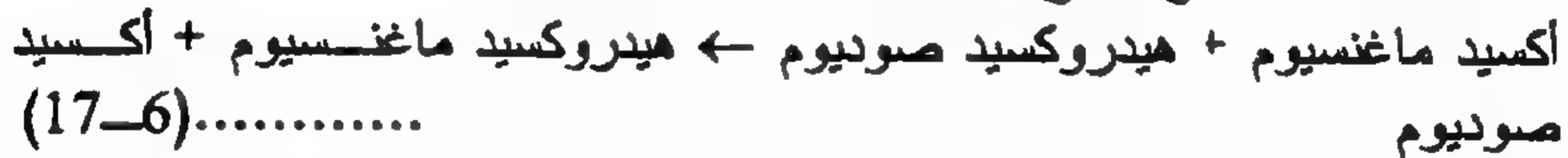
## 6-2-6 المهاجمة الكيميائية:

يتميز ماء البحر بوجود نسبة عالية جداً من أملاح الكلوريدات ونسبة عالية من أملاح الكبريتات وأملاح الماغنسيوم.

## 6-2-1 تأثير الكبريتات :

لوحظ من المنشآت البحرية والأبحاث أن تأثير أملاح الكبريتات الموجودة في ماء البحر أقل من تأثير أملاح الكبريتات الموجودة في الماء الجوفى. ويمكن تلخيص هذا الفعل كما يلي:

- تهاجم أملاح الكبريتات الخرسانة ويتكون الجبس وملح الأترنجيت، كما سبق ذكره في مهاجمة الخرسانة بالكبريتات. ولكن لوحظ أن التمدد يكون قليل. وأرجع العلماء ذلك لوجود أملاح الكلوريدات بتركيز عالى، والتي تعمل على نوبان كمية كبيرة من الأترنجيت المتكون وبالتالي يقل الضرر. كما لوحظ أن معدلات التفاعل بين الكبريتات والخرسانة تقل نتيجة وجود ملح البروسيت، والذي يتكون من اتحاد عنصر الماغنسيوم الموجود بماء البحر مع سطح الخرسانة الخارجى كما يلي:



- وملح هيدروكسيد الماغنسيوم (بروسيت) هو ملح ثنائيتيه منخفضه جداً. ويعتبر مادة عازلة متكونة على سطح الخرسانة الخارجى، مما يصعب دخول محلول الكبريتات إلى داخل الخرسانة لمهاجمتها.

وأثبت الفحص للمنشآت البحرية والتصوير تحت الماء الذى قام به المؤلف لبعض المنشآت البحرية مثل رصيف حوض البترول بميناء الإسكندرية، أن المنطقة الثالثة المغمورة هي أقل المناطق تأثراً، لوجود ملح هيدروكسيد الماغنسيوم. أما المنطقة الثانية فهي أشد المناطق تأثراً، نظراً لتأثير الأمواج الديناميكي على سطح الخرسانة وتكسير طبقة ملح هيدروكسيد



الماغنسيوم، مما يعجل من مهاجمة الخرسانة. وهذا الاستنتاج تم للتوصل إليه من قبل جميع الأبحاث السابقة.

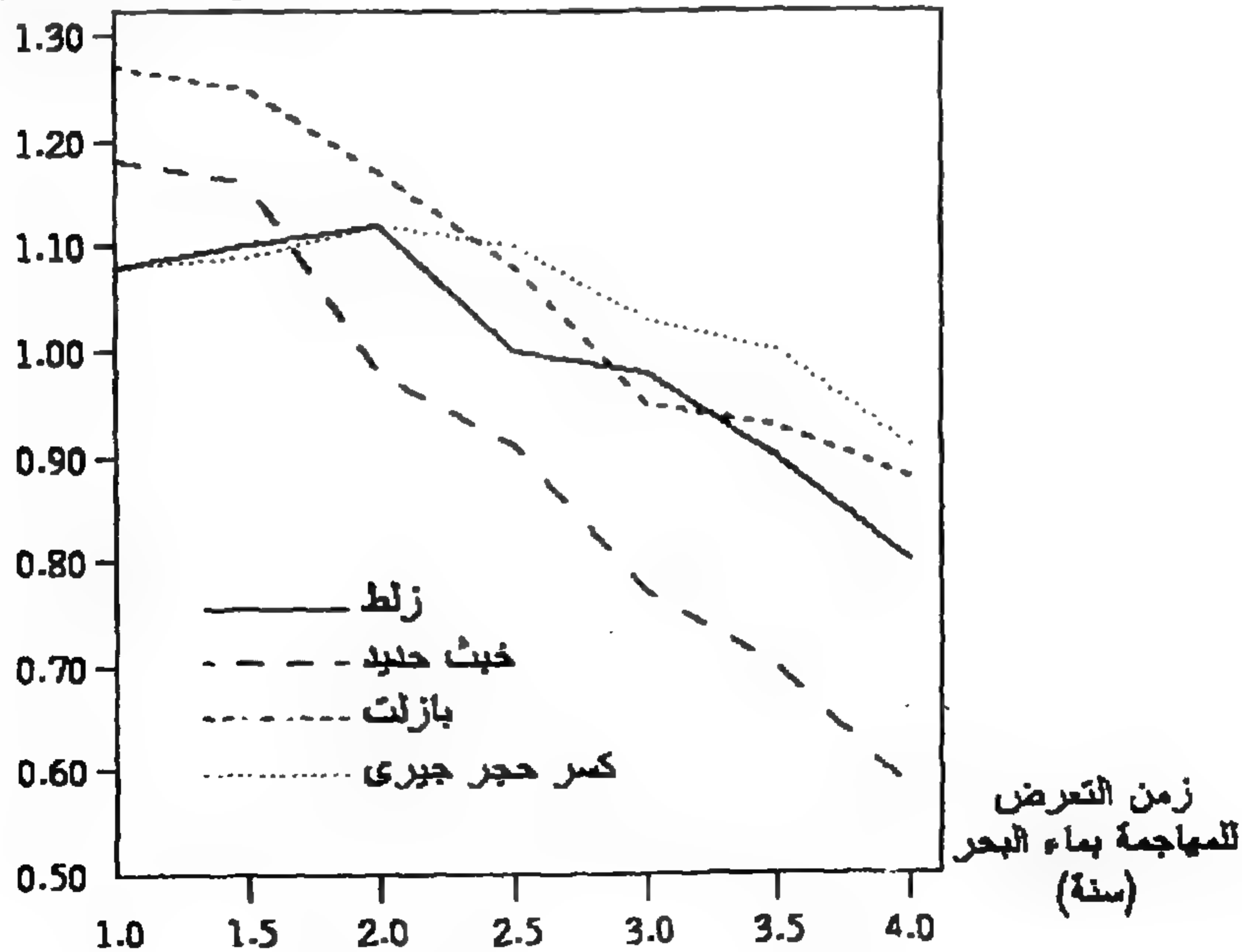
### 6-2-2 مهاجمة الكلوريدات:

يتوقف تأثير الكلوريدات على الخرسانة، على طبيعة المنشأ؛ هل المنشأ من خرسانة عالية أم من خرسانة مسلحة. فينقسم تأثير ملح الكلوريدات الموجود في ماء البحر أو الملاحات إلى تأثير على الخرسانة وتأثير على صلب التسليح. والتأثير الكيميائي للكلوريدات يتمثل في تأثيره على الخرسانة العادية التي يتم صبها في ماء البحر أو في الماء الجوفي المحتوي على نسبة عالية من الكلوريدات، حيث تؤثر أملاح الكلوريدات على كمية السجل وترتيبه. مما يقلل من مقاومة الضغط بعد 28 يوم، بالرغم من تحسینه للمقاومة المبكرة. ويجب على المهندس أخذ ذلك في الاعتبار عند تصميمه للخلطة. بحيث ترفع قيمة المقاومة المميزة لتلاشى هذا النقص. أما تأثير الكلوريدات على صلب التسليح، فسيتم مناقشته في ظاهرة صدأ صلب التسليح التي سنتناولها في البند (6-7).

### 6-2-3 تأثير عوامل أخرى على مهاجمة ماء البحر للخرسانة:

وقد قام المؤلف بعمل دراسة حقلية، قام خلالها بفحص كتل حماية الشواطئ المستخدمة لحماية شاطئ الإسكندرية من الأمواج، وكذلك بعض المنشآت الأخرى. وأثبتت الدراسة أن استخدام كسر الحجر الجيري في الخرسانة المعرضة لماء البحر كركام كبير أعطى سلوكاً أفضل من سلوك الزلط والبازلت. وأثبتت الدراسة العملية هذه النتيجة، كما هو واضح في شكل (6-4).

مقاومة الضغط النسبية

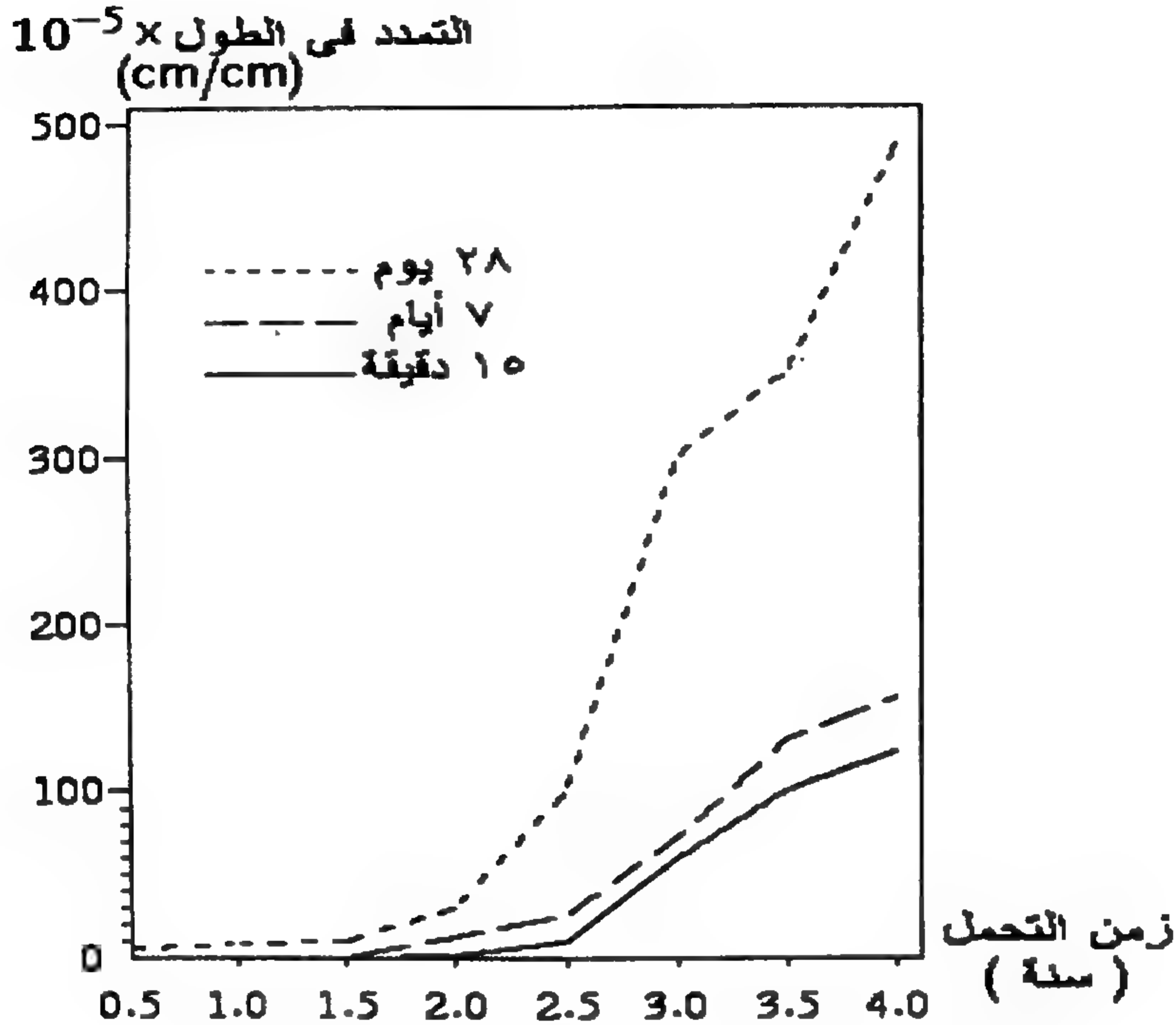


شكل (6-4) تأثير نوع الركام على تحمل الخرسانة لماء البحر



وربما يعود أفضلية الحجر الجيري لأن معامل التمدد الحرارى له أقل من الزلط بالإضافة إلى تحسن مقاومة الترابط.

وقد تم دراسة تأثير فترة المعالجة قبل صب أو تنزيل الخرسانة لماء البحر. وشكل (5-6) يوضح دراسة فترة المعالجة. وهذا الشكل يوضح أن أقل تمدد كان بعد فترة معالجة قدره 15 دقيقة؛ أى عند صب الخرسانة فى ماء البحر. وكان أكبر تمدد عند تعريض الخرسانة لماء البحر بعد 28 يوم من الصب. وربما يعود سبب قلة التمدد فى الخرسانة التى يتم صبها فى ماء البحر إلى بدء تكون البروسيت مبكراً فى داخل الخرسانة.



شكل (5-6) تأثير فترة المعالجة على التمدد الناتج من ماء البحر

#### 6-2-4 تأثير الصقيع على الخرسانة:

يعرف الصقيع بأنه تحول الماء بداخل الخرسانة إلى ثلج وبالتالي يزيد حجمه عن حجمه الأصلي.

##### 1- تأثير الصقيع على الخرسانة الطازجة:

- إذا حدث صقيع للخرسانة قبل أن يشك، فإن ماء الخلط سوف يتجمد ويحدث زيادة ملحوظة فى حجم الخرسانة وتأخير كبير فى زمن الشك والتصلد للخرسانة. وإذا استمرت الخرسانة فى درجة الحرارة المنخفضة، فسوف تستمر عملية عدم شكها. فإذا حدث بعد ذلك نوبان للسطح المتكون، فإنه يلزم دمك الخرسانة جيداً ثم بعد ذلك يحدث شك وتصلب لها بدون فقد فى المقاومة. ولا ينفذ ذلك إلا فى الخرسانة الغير إنشائية.

## 2- تأثير الصقيع على الخرسانة المتصلدة:

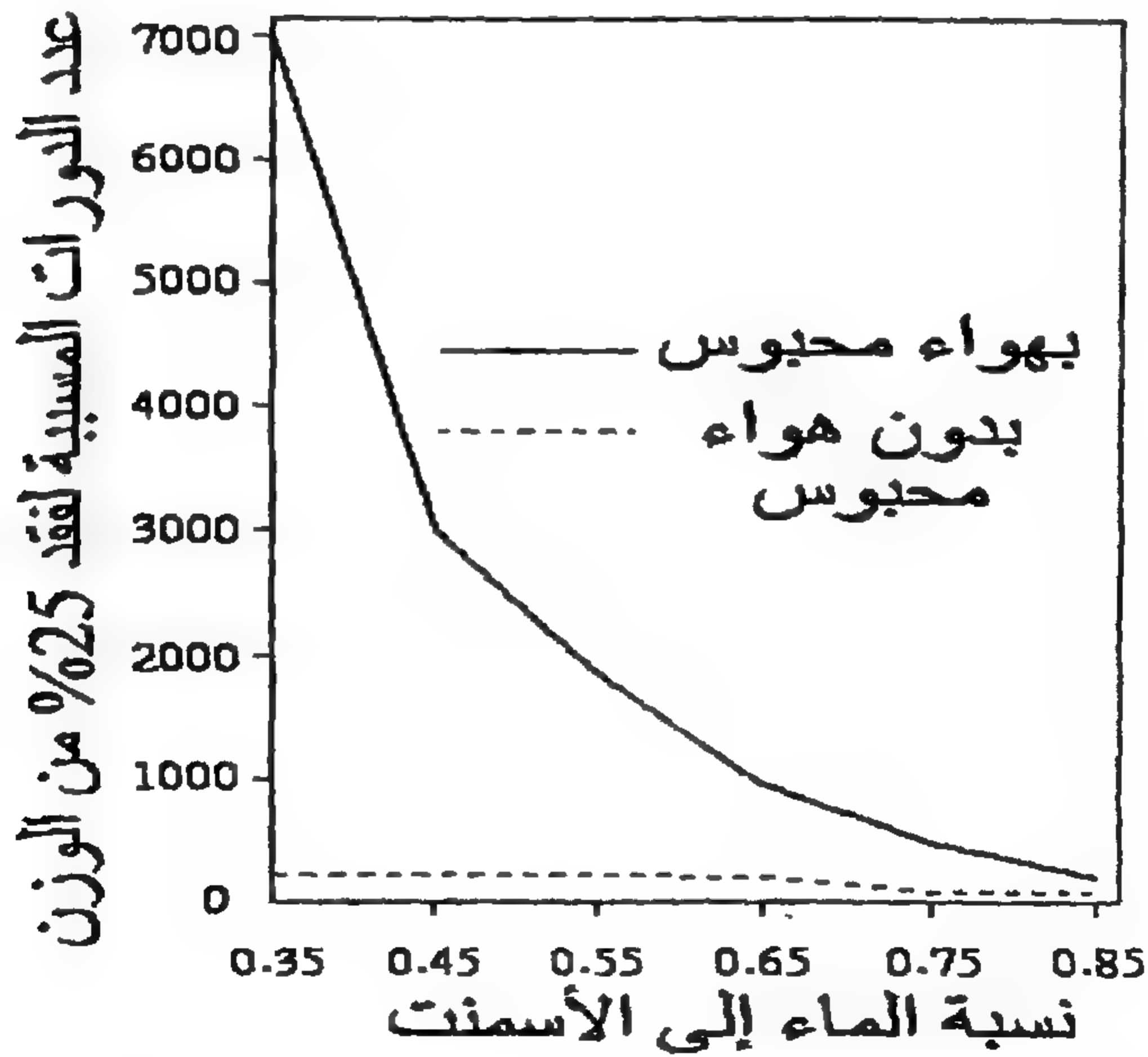
إذا انخفضت درجة حرارة الخرسانة المتصلدة، فإن الماء الموجود في الفراغات الشعرية داخل الخرسانة سوف يتجمد، ويحدث زيادة في الحجم ينتج عنه إجهادات داخلية. إذا تم نوبان للجليد بعد ذلك مع زيادة درجة الحرارة، فسوف تتلاشى تلك الإجهادات للخرسانة. وإذا تكررت العملية مرات عديدة سوف تظهر شروخ، وتبدأ الخرسانة في فقد جزء من مقاومتها. ومما هو جدير بالذكر أن الفراغات الكبيرة الموجودة في داخل الخرسانة الناتجة من دمك غير كامل، تكون مملوئة بالماء ولا تتأثر كثيراً بالصقيع.

## 3- العوامل التي تعتمد عليها مقاومة الخرسانة للصقيع:

يلزم أن تكون نسبة  $W/C$  منخفضة جداً، بحيث تحتوي العجينة على فراغات غير شعرية، وبالتالي تقل كمية الماء التي يمكن أن تتجمد. ويجب أن يتحقق درجة إمالة كافية للأسمنت، عن طريق الاهتمام بالمعالجة قبل تعرض الخرسانة للصقيع. ويلزم الدمك الجيد للخرسانة لمقاومة الصقيع. ولا يؤثر التركيب الكيميائي للأسمنت ولا نعومته على مقاومة الخرسانة للصقيع، إلا في الأيام الأولى، حيث يؤثر هذين العاملين على درجة الإمالة.

## 4- الخرسانة ذات الهواء المحبوس:

يساعد الهواء المحبوس على زيادة مقاومة الخرسانة للتحلل بواسطة الصقيع. ويتضح ذلك من شكل (6-6).



شكل (6-6) تأثير وجود الهواء المحبوس على تحمل الخرسانة للصقيع

ويؤثر الهواء المحبوس على خواص الخرسانة الأخرى، حيث أنه لكل زيادة 1 % في الهواء المحبوس ينقص معايير الكسر بمقدار 2-3 %، وتقل مقاومة للضغط بمقدار 3-5 %، ومعايير المرونة يقل بمقدار 3 %.

ويزيد الهواء المحبوس من تشغيلية الخرسانة الطازجة. ويظهر ذلك عند إضافة 5% هواء محبوس، حيث يزيد معامل الدمك بمقدار 0.03 — 0.07 ويزيد الهبوط بمقدار 1 — 5%. كما أن الهواء المحبوس يقلل احتمال النزيف .

**6-7 صدأ صلب التسليح:**

#### 6-7-1 عام:

إن ظاهرة صدأ صلب التسليح هي الأكثر انتشاراً في الإسكندرية وفي المدن الساحلية، وكذلك بدرجة أقل في المدن الأخرى. ويرجع معظم أسباب التصدع في المنشآت الخرسانية ونقص عمرها الافتراضي لصدأ الصلب. وتعتبر الخرسانة المسلحة من المواد ذات التحملية العالية وتعيش منشأتها طويلاً، ويفضلها المصممون على كثير من أنواع المواد الأخرى. وقد يكون الصدأ بسيطاً ويظهر في صورة شروخ دقيقة عند أسياخ التسليح. وقد يزيد تأثير الصدأ، فيؤدي إلى تساقط الخرسانة المكونة للغطاء الخرساني (Spalling of Concrete Cover). وقد يصل الصدأ لدرجة كبيرة فتتخفض مساحة أسياخ التسليح وتزيد الإجهادات زيادة كبيرة، مما يؤدي إلى حدوث انهيار للعضو الخرساني.

وخطورة صدأ الصلب أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهوره على السطح. وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الصلب بطيء، وقد يستمر سنين في بعض الحالات. وخطورته أيضاً أنه طالما بدأ فسيستمر حتى ولو أزيل مصدر الرطوبة، ما لم يزال الحديد الصدأ والخرسانة المعيبة وتستبدل بخرسانة سليمة. وأى إجراء يتبّع لإصلاح الوضع المتدهور لخرسانة أصابها الصدأ يعتمد كلية على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ، ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الاستمرار. والحقيقة أن الرطوبة والأكسجين و ملح الكلوريدات هم أساس عملية الصدأ؛ التي تبدأ حينما تُفقد الحماية التي توفرها الخرسانة لأسياخ التسليح نتيجة أسباب عدة مثل؛ زيادة نسبة الكلوريدات بالخلطة أو حدوث ظاهرة الكربنة لخرسانة الغطاء أو حدوث شروخ نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ، مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ ويبدأ الصدأ.

#### 6-7-2 ميكانيكية حدوث الصدأ:

##### أ - الصدأ نتيجة ظاهرة الكربنة:

نتيجة زيادة نفاذية الخرسانة، يهاجم ثاني أكسيد الكربون الخرسانة كما سبق ذكره، وتقل نسبة PH من 13 وقد تصل إلى 9. ومع خفض PH، يبدأ الصلب في فقد طبقة الحماية (Passive layer) الموجود على الأسياخ. ونظراً لأن سيخ الصلب يتكون من عدة أكاسيد يصعب تطابق نسبها من موضع لآخر، يبدأ حدوث مناطق أنودية ومناطق كاثودية، كما بالشكل (6-7). ويمكن تلخيصها كما يلي:

1. يتآين الصلب عند الأنود وينطلق منه إلكترونات تتجه للكاثود، ويتبقى الحديد على هيئة أيون موجب.

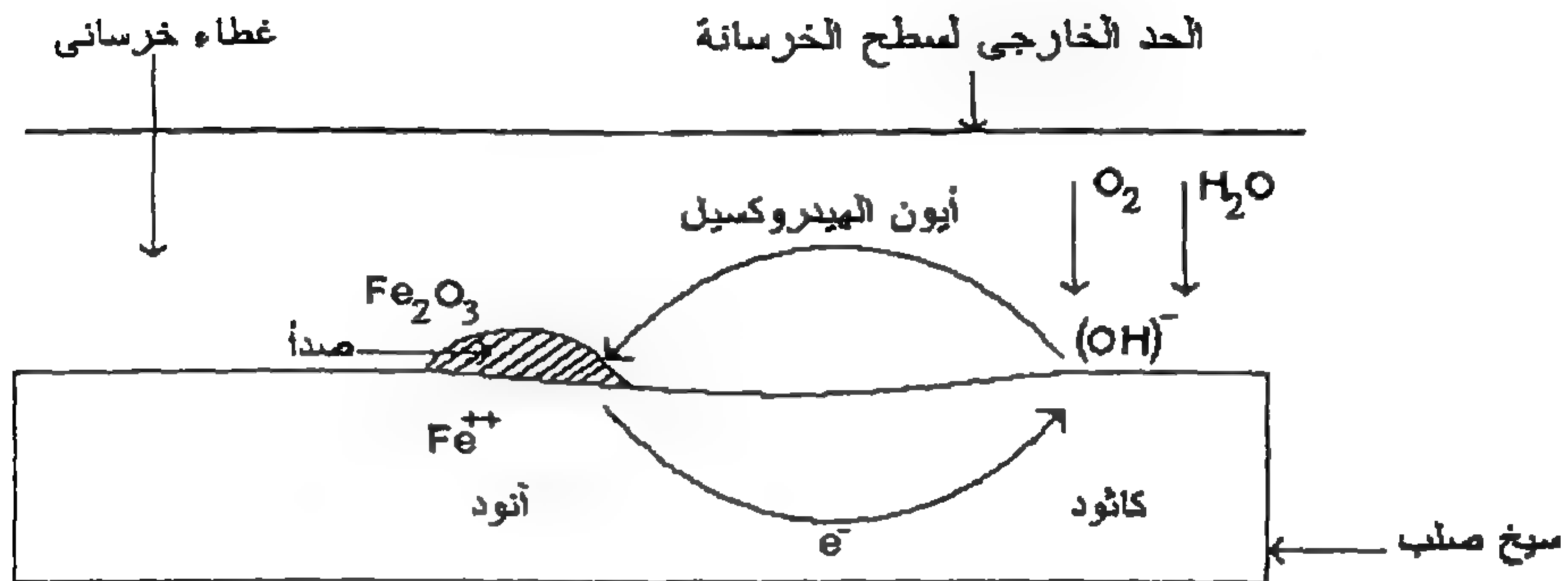
2. تنطلق الإلكترونات للكاثود، وتتحد مع الماء والأكسجين الموجودين في الخرسانة مكونة أيون الهيدروكسيل (OH<sup>-</sup>).

3. يتحد أيون الهيدروكسيل مع أيون الحديد في سلسلة من التفاعلات، وينتج عنها الصدأ؛ وهو أكسيد الحديد. ويمكن تلخيص تلك الظاهرة في المعادلات الكيميائية التالية:





ولكسيد الحديد (صدأ الصلب) يتميز بأن حجمه كبير جد . النسبة لحجم الحديد الأصلي (حوالي 6 مرات أو أكثر). مما يولد ضغوط على خرسانة الغطاء الخرساني، مما قد يولد شروخ في الخرسانة المحيطة. بالإضافة إلى فقد جزء من صلب التسليح، وتحوله إلى مادة ضعيفة. ويوجد عامل سلبي آخر لظاهرة الصدأ، وهو فقد جزء من مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح. ويحدث ذلك في مراحل الصدأ التي تؤدي إلى ظهور شروخ حول الأسياخ.

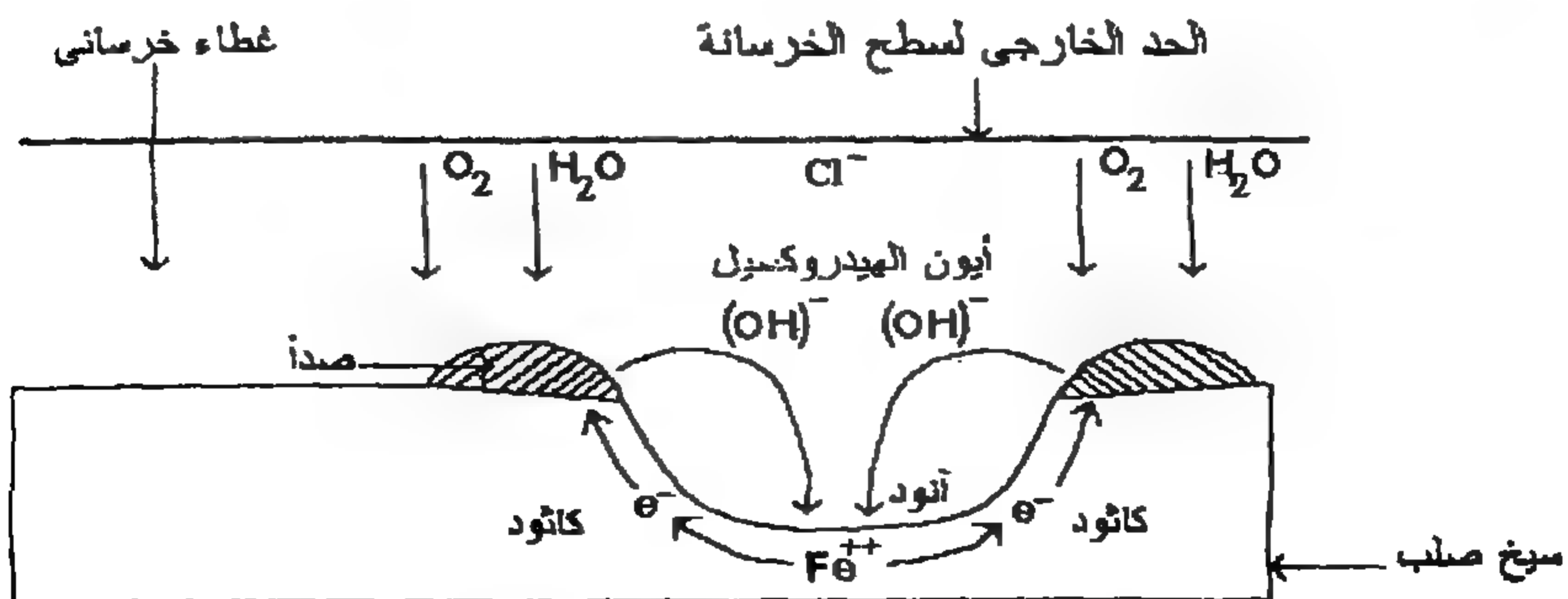


شكل (6-7) نموذج صدأ صلب التسليح في حالة ظاهرة الكربنة

ب - الصدأ نتيجة أملاح الكلوريدات:

قد توجد أملاح الكلوريدات في الرمل أو الركام الكبير المستخدمان في الخرسانة. وقد تتوفر تلك الأملاح من الأوساط المحيطة بالخرسانة مثل؛ الماء الجوفي أو الملاحات أو ماء البحر لو في التربة المبيخة.

إن وجود أملاح الكلوريدات مع الماء الموجود بداخل الخرسانة يسبب وجود حمض الهيدروكلوريك، الذي يفقد الخرسانة قلويتها بمعدل سريع ويدمر طبقة الحماية ويعجل من صدأ صلب التسليح. ولذلك تتعدد المناطق الكاثودية، ويحدث تآكل سريع في صلب التسليح في مكان واحد (Pitting Corrosion)، كما هو مبين بشكل (6-8).



شكل (6-8) نموذج للصدأ في حالة وجود نسبة عالية من الكلوريدات



ومن رحمة الله بنا أنه أوجد تفاعل آخر يتم بجانب التفاعل السابق، وهو التفاعل الموضح في المعادلات التالية:

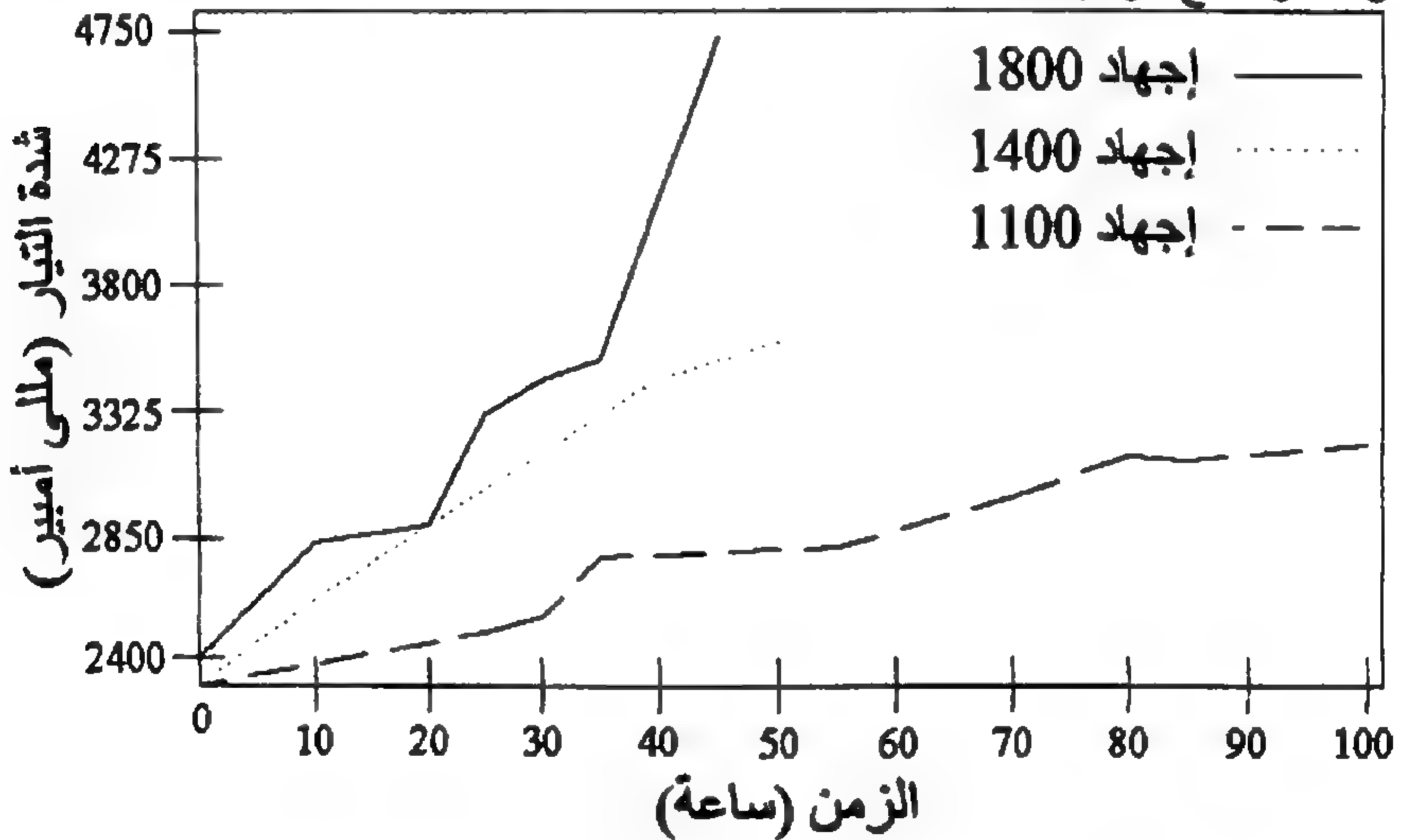


وهذا التفاعل ينشط الصدأ في البداية. لكن مع تراكم غاز الهيدروجين حول الكاثود يبدأ معدل الصدأ في النقصان، مما يبطئ من عملية الصدأ. وإلا كانت المنشآت الخرسانية المسلحة تفقد صلب تسليحها في فترة وجيزة جداً و يحدث بها انهيار.

ج - الصدأ نتيجة وجود شروخ بالخرسانة المسلحة:

مما هو معلوم عند تصميم المنشآت الخرسانية المسلحة، فإن مناطق الشد تسمح بوجود شروخ دقيقة غير مرئية به. وهذه الشروخ تعجل من اختراق الماء والأكسجين وأملاح الكلوريدات إلى داخل الخرسانة، مما يعجل الصدأ سواء أحدث نتيجة الكربنة، أو نتيجة أملاح الكلوريدات. ولذلك يجب أن يتناسب سمك الشرخ المسموح به مع الظروف البيئية المحيطة بالمنشآت. والجدول التالي يوضح سمك الشرخ المسموح به في الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية والموصى به لبعض المناطق.

وللتحكم في سمك الشرخ يجب تخفيض الإجهاد الموجود في صلب التسليح حتى يقل سمك الشرخ ويقل معدل الصدأ. وشكل (6-9) يوضح تأثير الإجهاد في صلب التسليح على شدة التيار المتولد مع الزمن.



شكل (6-9) تأثير الإجهاد في صلب التسليح على شدة التيار المتولد مع الزمن

وإذا صمم المهندس المنشآت المختلفة محافظاً على سمك الشرخ الموضح في الجدول والاحتياطات الأخرى اللازمة التي ستذكر لاحقاً لتحسين تحمل الصلب للصدأ، فإن المنشآت ستميز بتحمل جيد لهذه الظاهرة.



جدول (6-6) سمك الشرح المسموح به للمنشآت الموجودة في بيئات مختلفة .

مستل	درجة تعرض سطح الشد للعوامل البيئية	سمك الشرح المسموح به مم
1	العناصر التي أسطح الشد بها محمية: وهذه العناصر تشمل: أ- جميع العناصر الداخلية المحمية في المنشآت العادية كالمباني. ب- العناصر المغمورة بصفة دائمة أسفل المياه التي لا تحتوى على مواد ضارة أو في حالة جفاف دائم. ج- الأسقف النهائية المعزولة جيداً ضد الرطوبة والأمطار.	0.30
2	العناصر التي أسطح الشد بها غير محمية: وهذه العناصر تشمل: أ- جميع المنشآت في العراء مثل الكبارى والأسقف غير المعزولة عزلاً جيداً. ب- منشآت القسم الأول المجاورة للشواطئ. ج- العناصر المعرضة أسطحها للرطوبة، نظراً لعدم إمكان إبعادها عن تأثيرها مثل الصالات المفتوحة أو الجراجات.	0.20
3	العناصر التي أسطح الشد بها معرضة لعوامل ضارة: وهذه العناصر تشمل: أ- العناصر المعرضة لنسبة رطوبة عالية. ب- العناصر المعرضة إلى حالات متكررة من التشبع بالرطوبة. ج- خزانات المياه. د- المنشآت المعرضة لأبخرة وغازات ومواد كيميائية ذات تأثير غير شديد.	0.15
4	العناصر التي أسطح الشد بها معرضة لعوامل ذات تأثيرات مؤكدة وضارة تسبب صدأ الصلب: وهذه العناصر تشمل: أ- العناصر المعرضة لعوامل ذات تأثير مؤكسد ضار بسبب صدأ الصلب بما في ذلك الأبخرة والغازات التي تحتوى على كيماويات وغيرها. ب- الخزانات الأخرى والمجارى والمنشآت المعرضة لماء البحر. ج- الأسقف النهائية المعزولة جيداً ضد الرطوبة والأمطار.	0.10

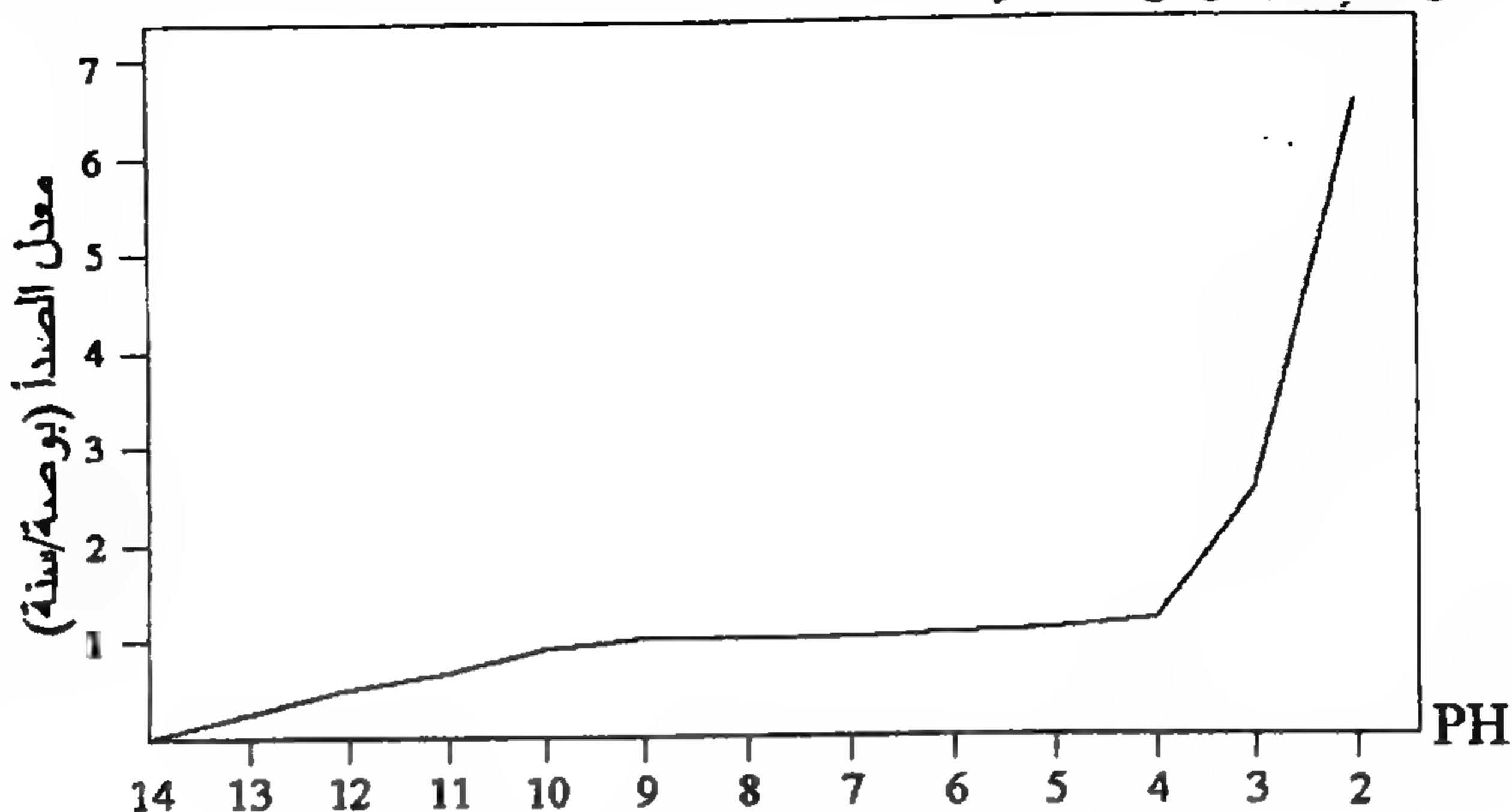
د - تحسين مقاومة صدأ صلب التسليح:

إن صناعة الخرسانة الجيدة - كما سبق ذكره - تحقق مقاومة جيدة للصدأ في حالة المنشآت المقامة في الظروف العادية. ولكن في حالة تعرض الخرسانة لأوساط بها محتوى عالى من الكلوريدات مثل؛ الخرسانة المسلحة الموجودة في ماء البحر أو ملاحات أو تربة مسبخة، فإنه من الواجب تحسين أداء صلب التسليح في تلك الأوساط باتباع كل أو بعض من الطرق التالية:

1. الاهتمام بصناعة الخرسانة:

يجب على المهندس المحافظة على احتفاظ الخرسانة بقلوبتها، لأن الخرسانة ذات القلوية العالية لا يحدث بها صدأ، ويتضح ذلك من شكل (6-10). وهذا الشكل يوضح بجلاء أنه كلما كانت قلوية الخرسانة أكبر من أو يساوى 13، فإن معدل الصدأ يكون قليل جداً أو منعدم. فيجب على المهندس تخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت، حتى يقل نفذية غاز

ثاني أكسيد الكربون أو الكلوريدات إلى داخل الخرسانة. ويجب عليه أن يستخدم خرسانة غنية وخرسانة كثيفة.



شكل (6-10) تأثير PH على معدل صدأ الصلب

## 2. استخدام نوع أسمنت مناسب للمهاجمة:

ففي حالة تعرض الخرسانة المسلحة لمهاجمة الكلوريدات بنسبة عالية، يجب استخدام أسمنت عالي الخبث أو أسمنت بورتلاندى عادى. أما في حالة تعرض الخرسانة المسلحة لمهاجمة مزدوجة من الكلوريدات والكبريتات مثل ماء البحر أو الملاحات أو التربة السبخة، فينصح باستخدام الأسمنت عالي الخبث أو أى أسمنت آخر بشرط أن تتوافر فيه نسبة ألومينات ثلاثى الكالسيوم بنسبة تتراوح بين 5: 8%. وكلما زادت هذه النسبة يكون ذلك مفضلاً، حيث أثبتت الأبحاث أنه كلما زادت نسبة  $C_3A$  تحسن مقاومة الصدأ.

## 3. استخدام رمل وزلط وماء وإضافات بها أقل نسبة كلوريدات ممكنة:

ويمكن غسل الركام في تلك الحالة، بحيث لا تزيد نسبة الكلوريدات القابلة للذوبان في الماء بالخرسانة على 0.1% من وزن الأسمنت.

## 4. زيادة الغطاء الخرساني لصلب التسليح:

في حالة زيادة احتمالات الصدأ، يجب ألا يقل سمك الغطاء الخرساني عن 50 مم للخرسانة المغمورة والخرسانة المعرضة للهواء الجوى، ولا يقل سمك الغطاء عن 70 مم للخرسانة المعرضة للبلل والجفاف.

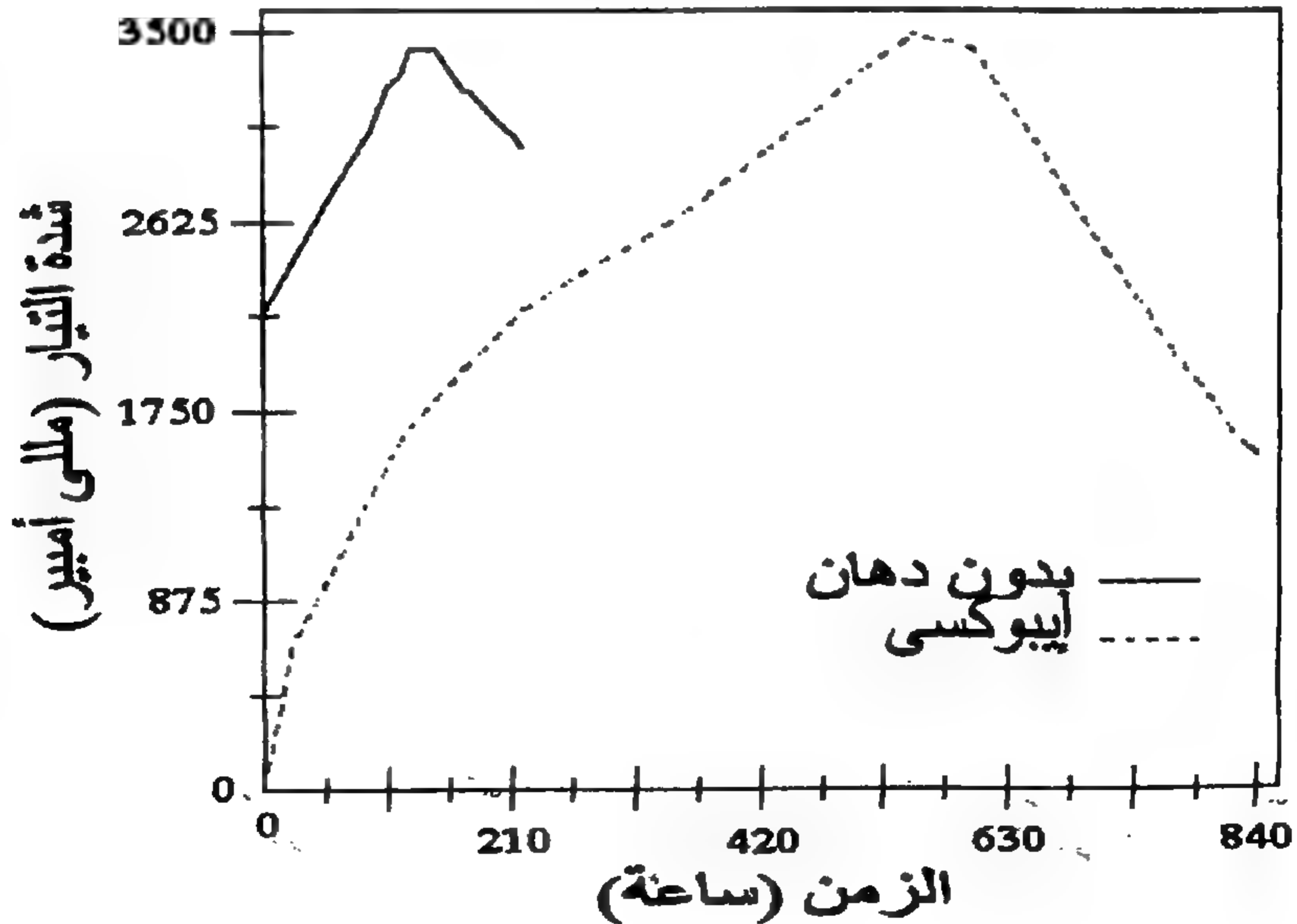
وكلما زاد الغطاء الخرساني حول صلب التسليح، يكون وصول ثاني أكسيد الكربون أو الكلوريدات المحيطة إلى صلب التسليح أو بالقرب منه بطيء، وخاصة إذا كان هذا الغطاء مصنوع من خرسانة جيدة. وينص الكود المصرى للمنشآت الخرسانية على استخدام الجدول التالى (جدول 6-7) لتحديد سمك الغطاء الخرساني للمنشآت في الظروف المختلفة.

جدول (6-7) الحد الأدنى لسمك الغطاء الخرساني .

سمك الغطاء الخرساني * (مم)				قسم تعرض سطح الشد
للحوائط والبلاطات المصنعة		عام لجميع العناصر عدا الحوائط والبلاطات المصنعة		
$F_{cu}^{**} > 25$	$F_{cu}^{**} \leq 25$	$F_{cu}^{**} > 25$	$F_{cu}^{**} \leq 25$	
20	20	20	25	العناصر التي أسطح الشد بها محمية
20	25	25	30	العناصر التي أسطح الشد بها غير محمية
25	30	30	35	العناصر التي أسطح الشد بها معرضة لعوامل ضارة
35	40	40	45	العناصر التي أسطح الشد بها معرضة لعوامل ذات تأثيرات مؤكدة وضارة تسبب صدأ الصلب

##### 5. دهان صلب التسليح:

يتم دهان صلب التسليح بدهانات تحسن الأداء لمقاومة الصدأ مثل الإيبوكسي والإيبوكسي الغني بالزنك. وشكل (6-11) يوضح أن دهان صلب التسليح بالإيبوكسي يقلل كثيراً من شدة التيار في البداية، ويزيد الزمن اللازم لحدوث شرخ معين إذا ما قورن بالأسياخ الغير مدهونة بالإيبوكسي. وأثبتت الأبحاث أن استخدام الإيبوكسي في المناطق التي تتعرض لدورات من البلل والجفاف غير مفضل لحدوث تقشير بالدهان. ويستخدم الآن أيضاً الإيبوكسيات الغنية بالزنك.



شكل (6-11) تأثير دهان صلب التسليح على شدة التيار المتولد مع الزمن

## 8-6 طرق معالجة السطح الخارجى للخرسانة ضد الرطوبة:

1. الدهان بالمحاليل الأسفلتية مثل البيتومين المؤكسد، والذي يستخدم والخرسانة جافة وهو يستخدم غالباً لدهان الأساسات.
  2. الدهان بالمحاليل الأسمنتية الأساس التى تحتوى على الكوارتز وغبار السليكا وغيرها من الإضافات، حيث يتم دهان الأسطح الخرسانية به. وهى مفيدة فى حالة وجود رطوبة بالخرسانة أو بالأجواء المحيطة.
  3. لصق ألواح من الـ PVC.
  4. لصق نسيج من الأنسومات (نسيج من الكتان مشبع بالبيتومين المؤكسد).
- ويجب على المهندس التعرف على الإمكانيات المتاحة فى سوق العمل واستخدام أفضلها.

## 9-6 التفاعل القلوى للركام (Alkali Aggregate Reaction):

من البديهي أنه من المفضل ألا يتفاعل ركام الخرسانة مع وسط الخرسانة أو مع المواد المهاجمة للخرسانة، حتى لا يحدث تمدد والخرسانة متصدده، مما يعرضها للخطر إذا كانت تلك التمددات عالية.

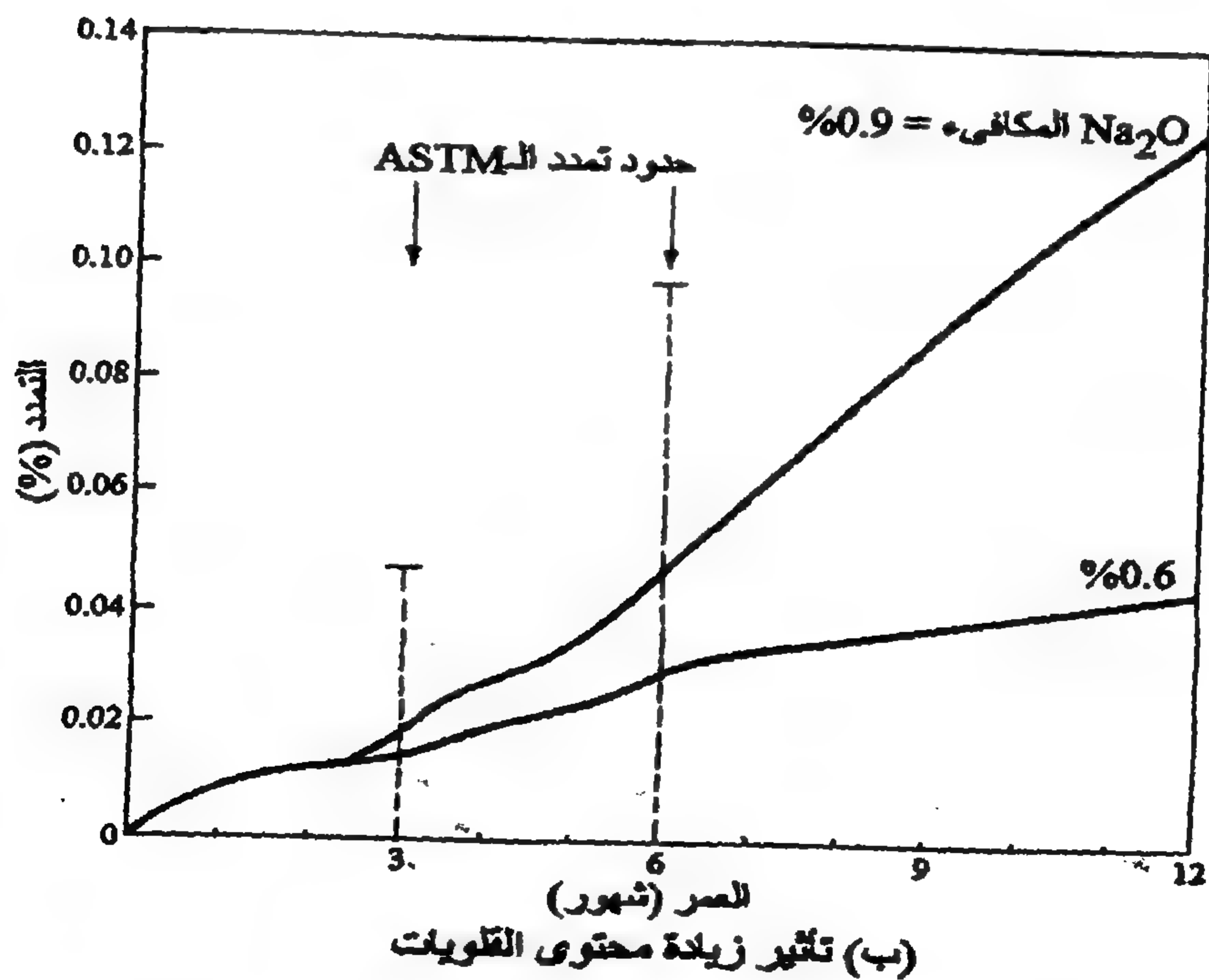
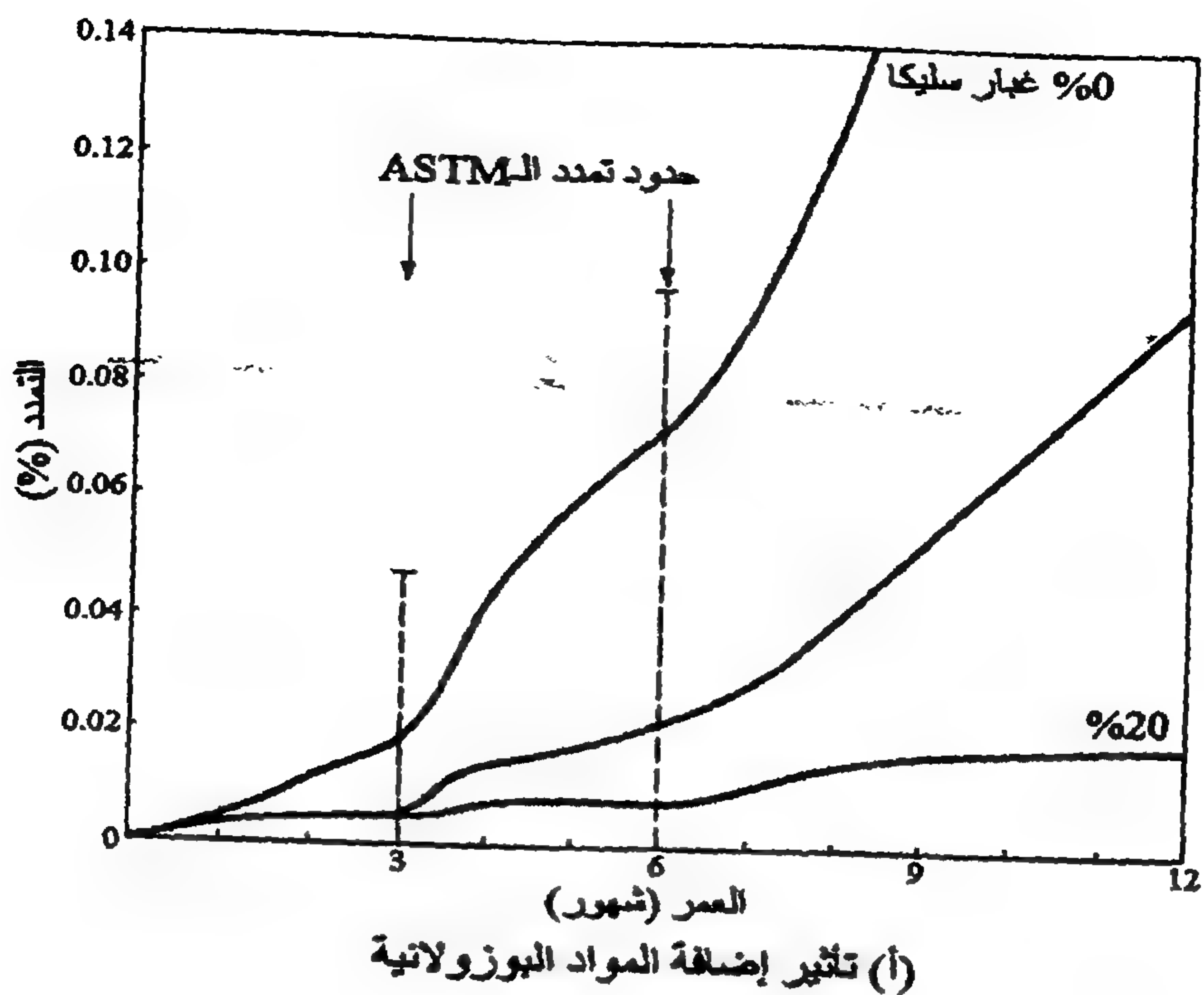
بعد إنشاء بعض المنشآت الخرسانية مثل بعض الكبارى فى بعض مناطق العالم مثل ولاية نبراسكا وومنج الغربية ونفق الشهيد أحمد حمدي بمنطقة قناة السويس، لوحظ ظهور شروخ بتلك المنشآت. وأرجع العلماء بعض من هذه الشروخ إلى ظاهرة تفاعل ركام الخرسانة مع قلويات الأسمنت. وسوف نلخص فى ما يلى أنواع التفاعل القلوى المختلفة.

## 9-6-1 التفاعل القلوى السليسى (Alkali Silica Reaction):

حدث فى الولايات المتحدة فى الفترة من 1920 وحتى 1940 بعض الانهيارات فى مجموعة من المباني الخرسانية نتيجة انتشار الشروخ وظهور تفتتات وظهور جل من الشروخ. واكتشف العلماء أن ذلك يعود لتفاعل ركام يحتوى على سيلكا نشطة (Reactive Silica) مع قلويات الأسمنت الناتجة من أكسيد الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) وأكسيد البوتاسيوم ( $\text{K}_2\text{O}$ ). والسيلكا النشطة وجدت فى بعض أنواع الحجر الجيرى السليسى والشرت (Chert) والـ Shales والأحجار الرملية. وهذا التفاعل يحدث كما يلى:



هيدروكسيد الصوديوم + (ركام) ← جل-قلوى-سليسى .....(25-6)  
والجل القلوى السليسى يؤدي إلى تدمير تكامل الركام، ثم يمتص كمية كبيرة من الماء ويزيد حجمه، ويؤدي إلى حدوث التمدد الذى قد يؤدي إلى التشريح. وهذا التأثير يزيد كلما زاد محتوى السليكا النشطة، ويزيد كلما نقص قطر هذه السليكا. وفى حالة اكتشاف هذه الظاهرة فى الركام، يمكن ملاشاتها بسهولة باستخدام مادة بوزولانية مثل الرماد الطائر (Fly Ash) أو غبار السليكا، وهى توضع ليتفاعل معها القلويات وتتجنب التفاعل مع الركام، انظر شكل (6-12). وتوجد بعض أنواع الركام تتفاعل مع قلويات الأسمنت ولكن يسمى التفاعل بـ Cement Aggregate Reaction وهذا الركام به Porous Silica أو Hydrated Silica Mineral مثل الأوبال و Volcanic Glass ويصعب التفرقة بين التفاعلين المذكورين سابقاً.



شكل (6-12) تأثير محتوى القلويات والمواد البوزولانية (الرماد الطائر)

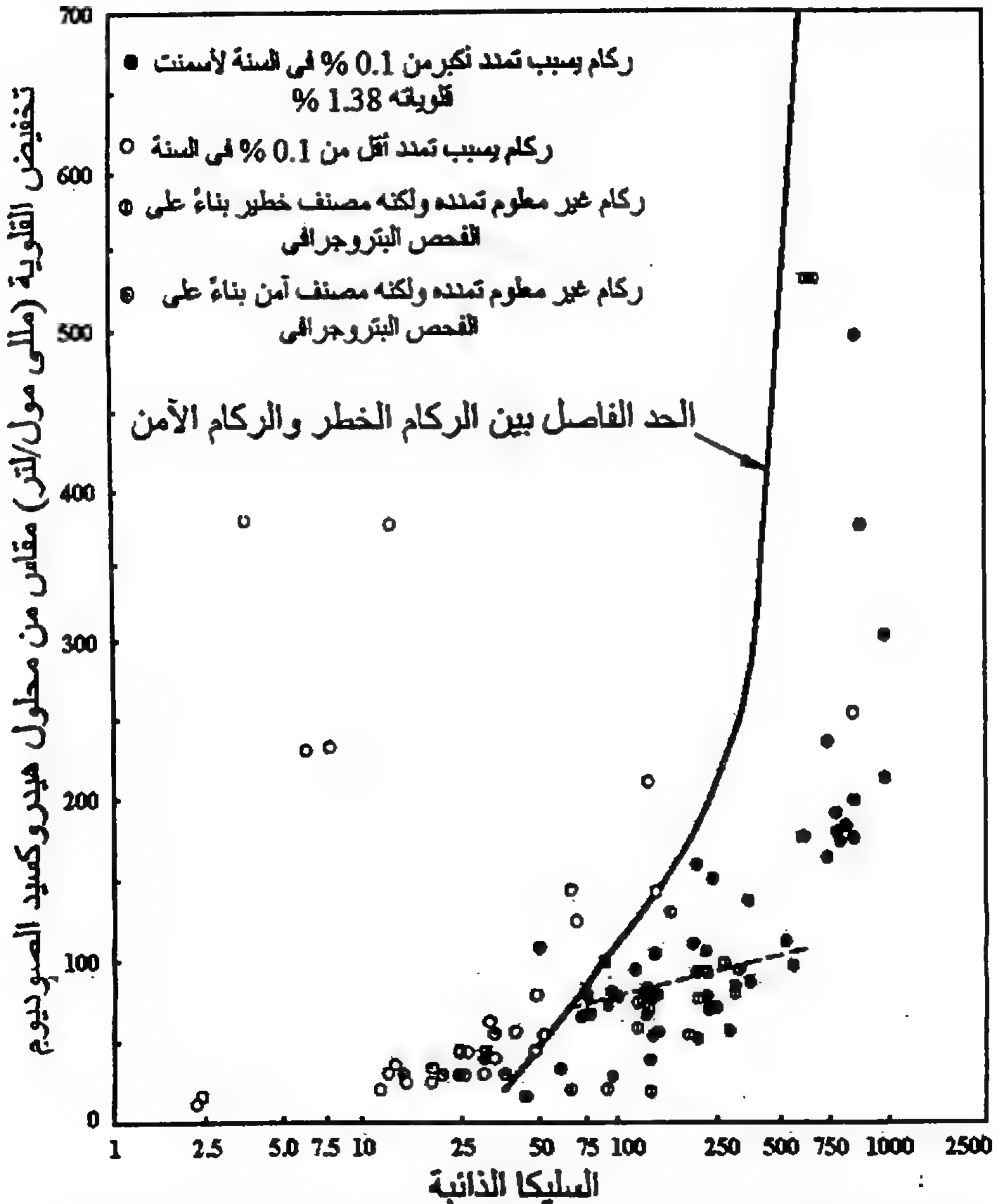


## 6-9-1-1 الكشف على التفاعل القلوي السليسي:

يمكن استخدام الاختبارات التالية التي وردت في هيئة المواصفات الأمريكية للمواد (ASTM) والكود المصري للخرسانة (كود رقم 203-2007):

• استخدام الطريقة الكيميائية:

وهي تجربة ابتدائية لتقييم قابلية الركام للنشاط (ASTM C 289)، وهي تجربة كيميائية سريعة يتم قياس قلوية محلول NaOH موضوع فيه مسحوق الركام المختبر عند 80 درجة مئوية، ويتم تحديد كمية السليكا الذائبة، وباستخدام شكل (6-13) الذي يوضح العلاقة بين السليكا الذائبة والخفض في القلوية يمكن الحكم على نشاط الركام ابتدائياً.



شكل (6-13) العلاقة بين السليكا الذائبة لمسحوق ركام من MM300 إلى MM150 والفاقد في القلوية

- التحليل البترجرافى:  
حيث يتم تحليل الركام بالأشعة السينية المفرقة (X-Ray Diffraction Analysis) (ASTM C 295).  
يتم تصوير الركام بالميكروسكوب الإلكتروني ( Scanning Electron Microscopy)، على أن يقوم الجيولوجى بعمل تقرير عن كمية وتركيب المواد القابلة للتفاعل القلوى.
- إجراء اختبارات الأدوات التالية:  
وتلك الاختبارات المذكورة فى جدول (6-8).

جدول (6-8) الاختبارات المطلوبة للكشف عن التفاعل القلوى السليسى

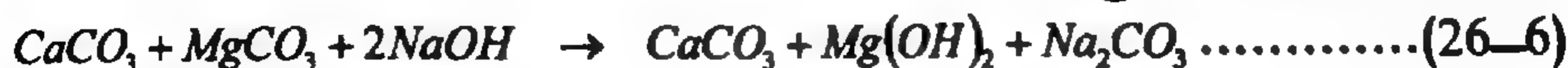
رقم الاختبار	التحليل	مدى الصلاحية للاستخدام	الإجراء
1- اختبار تمدد منشور للمونة المعجل (اختبار 2-27)	يقاس تمدد المنشور خلال 14 يوم	يستخدم الركام إذا لم يزد التمدد على 0.10%	يجرى الاختبار رقم 2 إذا كان التمدد بين 0.1 ، 0.2 % ويرفض للركام إذا زاد التمدد على 0.2%
2- التفاعل القلوى على منشور من الخرسانة ASTM C 1293-01	يقاس التمدد خلال عام	يستخدم الركام إذا قل التمدد عن 0.04%	يستبعد الركام إذا زاد التمدد على 0.04 %

#### 6-9-1-2 طرق معالجة وجود هذا الفعل:

- استخدام أسمنت بورتلاندى يحتوى على نسبة منخفضة من القلويات لا تتجاوز 0.6% بحيث تكون محسوبة على هيئة أكسيد صوديوم مكافئ  $Na_2O$ .  
أكسيد الصوديوم المكافئ = أكسيد للصوديوم + 0.66 أكسيد البوتاسيوم
- إحلال جزء من الأسمنت بمادة بوزولانية على أن تكون تلك المادة فعالة فى تقليل ظاهرة التفاعل القلوى. ومن المفضل أن تكون تلك المواد مقللة لانكماش الخرسانة لتقاوم تفاعل Cement Aggregate Reaction.
- تقليل نسبة الرطوبة فى الخرسانة عن طريق عزل الخرسانة باستخدام أغشية أو دهانات غير منفذة للماء.

#### 6-9-2 التفاعل القلوى الكربونى (Alkali Carbonate Reaction):

سجل فى الولايات المتحدة وكندا العديد من هذا التفاعل. وهذا التفاعل يتم بين قلويات الأسمنت وبعض أنواع الحجر الجيري الدولوميتى (Dolomitic Lime Stone). ولخص منجوشو هذا التفاعل كما يلى:



Then



كما هو موضح فى المعادلة الأولى، يتحول للدولوميت إلى كالميت وبروسيت. وكما هو واضح من المعادلة الثانية أن كربونات الصوديوم تتحد مع هيدروكسيد الكالسيوم، وينتج عنه هيدروكسيد صوديوم. وهذا خطير جداً، لأن التفاعل ينتج قلويات جديدة مما يجعل مهاجمة الحجر مستمر دائماً. ولذلك عند اكتشاف وجود هذه الظاهرة وعندما تؤكد الدراسات وجود تمدد كبير فى الاختبارات، فيجب استبعاد هذا الركام أو يستخدم مع أسمنت خالى من القلويات. ولا يمكن استعمال المواد البوزولانية أو تخفيض قلويات الأسمنت فى هذه الحالة.

#### \* الكشف على التفاعل القلوى الكربوناتي:

يستخدم التحليل البتروجرافى كما سبق ذكره، حيث يتم تحديد نسبة الكالسيوم ونسبة الدولوميت فى الركام وهل توجد معادن طينة أم لا. يتم عمل تجارب الأدائية التى نص عليها كود الخرسانة رقم 203-2007، كما بجدول (6-9).

جدول (6-9) الاختبارات المطلوبة للكشف عن التفاعل القلوى الكربوناتي

رقم الاختبار	التحليل	مدى الصلاحية للاستخدام	الإجراء
1- التفاعل القلوى الأسطوانة من الصخر ASTM C 586-69	يتم تحديد التمدد خلال عام	يستخدم الركام إذا قل التمدد عن 0.10%	يجرى الاختبار 2 إذا كان التمدد أكبر من 0.1 %
2- التفاعل القلوى على منشور من الخرسانة ASTM C 1105-95	يتم تحديد التمدد خلال عام	يستخدم الركام إذا قل التمدد عن 0.015% عند عمر 3 شهور 0.025% عند عمر 6 شهور 0.030% عند عمر سنة	يستبعد الركام إذا زاد التمدد على 0.04 %

ويرى المؤلف أنه يجب على الدولة أو الشركات التى تقوم بعملية التحجير وتكسير الركام عمل فحص كل سنة للمحجر، حيث تحدد المساحة التى سيتم استعمالها من المحجر خلال هذه السنة. حيث يتم استخراج عينات من أماكن مختلفة من هذه المساحة، تُجرى عليها الاختبارات اللازمة فى السنة السابقة لسنة الاستخدام. ويتم تسليم تقارير بهذه الاختبارات للمقاولين وللملاك والجهات المسؤولة. وقد وفقنى الله بعمل دراسة عن محاجر كسر احجار مرسى مطروح والحمام وفوكه والجلاله فى الساحل الشمالى الغربى. وأثبتت الدراسات على بعض العينات خلو هذا الركام من هذا النشاط. وخلال عمر ثلاثين عام من استخدام هذا الركام فى مشاريع كثيرة، لم يحدث مشاكل من هذا الركام مما أكد نتائج البحث. ونحن ننصح بعدم استخدام ركام غير مختبر فى المنشآت التى تتعرض للرطوبة مثل الأساسات والخوازيق.

### 6-10 الخواص الحرارية للخرسانة (Thermal Properties of Concrete):

إن الخواص الحرارية للخرسانة تصبح ذات أهمية فى عدد محدود من التطبيقات مثل الخرسانة الكتلية أو عند حساب فواصل التمدد أو البلاطات التى يتطلب فيها نوع معين من العزل الحرارى. وسنتناول فى ما يلى بعض الخواص الحرارية.

#### 6-10-1 الموصلية الحرارية (Thermal conductivity):

وهى تقيس قابلية المادة لتوصيل الحرارة، وتقاس بال جول لكل ثانية لكل متر مربع من مساحة المقطع للخرسانى للعضو عندما يكون الفرق فى درجة الحرارة 1 درجة مئوية خلال

1 متر من سمك العضو ( $J/m^2 \text{ sec } ^\circ C/m$ ). والموصلية تعتمد على مكونات الخرسانة المتصلة من حيث نوع الركام وكمية العجينة ودرجة الرطوبة. فالموصلية الحرارية للزلط أكبر من الحجر الجيري والدولوميت. والموصلية تزيد كلما زاد الماء في الخرسانة المتصلة. كما أن وجود الهواء المحبوس والهواء عامة يقلل كثيراً من الموصلية الحرارية، التي تتراوح للخرسانة بين 1.4 إلى 3.6 جول/م<sup>2</sup>ث<sup>2</sup>م/م. ولذلك فمن المتوقع أنه كلما زادت كثافة الخرسانة وتحسن الدمك، فإن الموصلية الحرارية تكون عالية. وهذا مايجب التنبيه عليه للخرسانة عالية وفائقة المقاومة، حيث أن موصليتها الحرارية ستكون عالية وبالتالي فإن تأثيرها بالحريق وإطفائه يكون كبير. ويمكن تقدير محتوى الماء المتوسط في الخرسانة المتصلة للغير معزولة بين 5.00، 8.00% بالوزن للخرسانة العادية والخفيفة على الترتيب. بينما في حالة تلك الخرسانة المعزولة يقل محتوى الماء إلى 2.5، 5.0% على الترتيب. وجدول (6-10) يحتوى على قيم اقترحها كل من لووندون وستاسيلي للموصلية الحرارية.

جدول رقم (6-10) قيم الموصلية الحرارية للخرسانة العادية الوزن والخفيفة.

وحدة وزن الخرسانة كجم/م <sup>3</sup>	الموصلية لخرسانة حجمية من الجو جول / م <sup>2</sup> ث <sup>2</sup> م / م			الموصلية لخرسانة ليست حجمية جول / م <sup>2</sup> ث <sup>2</sup> م / م			
	خرسانة ذات هواء	خرسانة ضعيفة	خرسانة خفيفة	خرسانة ذات هواء	خرسانة ضعيفة	خرسانة خفيفة	خرسانة عادية الوزن
320	0.109	0.087	0.13	—	0.123	0.100	0.145
480	0.145	0.116	0.173	—	0.161	0.13	0.187
640	0.203	0.159	0.230	—	0.223	0.173	0.26
800	0.26	0.203	0.303	—	0.273	0.23	0.332
960	0.315	0.26	0.376	—	0.36	0.289	0.433
1120	0.389	0.315	0.462	—	0.433	0.360	0.519
1280	0.476	0.389	0.562	—	0.533	0.433	0.635
1440	—	0.462	0.678	—	—	—	0.808
1600	—	0.549	0.794	0.706	—	—	0.952
1760	—	0.649	0.952	0.838	—	—	1.194
1920	—	—	—	1.056	—	—	1.488
2080	—	—	—	1.315	—	—	1.904
2240	—	—	—	1.696	—	—	2.561
2400	—	—	—	2.267	—	—	—

## 6-10-2 الانتشارية الحرارية ( $\delta$ ) (Thermal Diffusivity):

الانتشارية تمثل المعدل الذي عنده تنتشر التغيرات الحرارية في داخل الكتلة الخرسانية ( $\delta$ ).

و  $\delta$  تحسب من المعادلة  $\delta = \frac{k}{c \gamma}$ ، حيث أن  $k$  الموصلية و  $\gamma$  الكثافة و  $C$  الحرارة النوعية.



وتتراوح القيمة المتوسطة للخرسانة بين 0.002 و 0.006 م<sup>2</sup>/ساعة. ولقياسها يجب تثبيت درجة رطوبة الخرسانة. وتزيد الانتشارية لخرسانة الزلط وتصبح أقل لخرسانة الأحجار الجيرية.

### 6-10-3 الحرارة النوعية (C)(Specific Heat):

وهي تمثل السعة الحرارية للخرسانة، والتي تتراوح في المتوسط بين 840 و 1170 جول/كجم/°م. والتي تزيد بزيادة محتوى الماء في الخرسانة المتصلدة ولا تتأثر كثيراً بنوع الركام.

### 6-10-4 معامل التمدد الحرارى (Coefficient of Thermal Expansion):

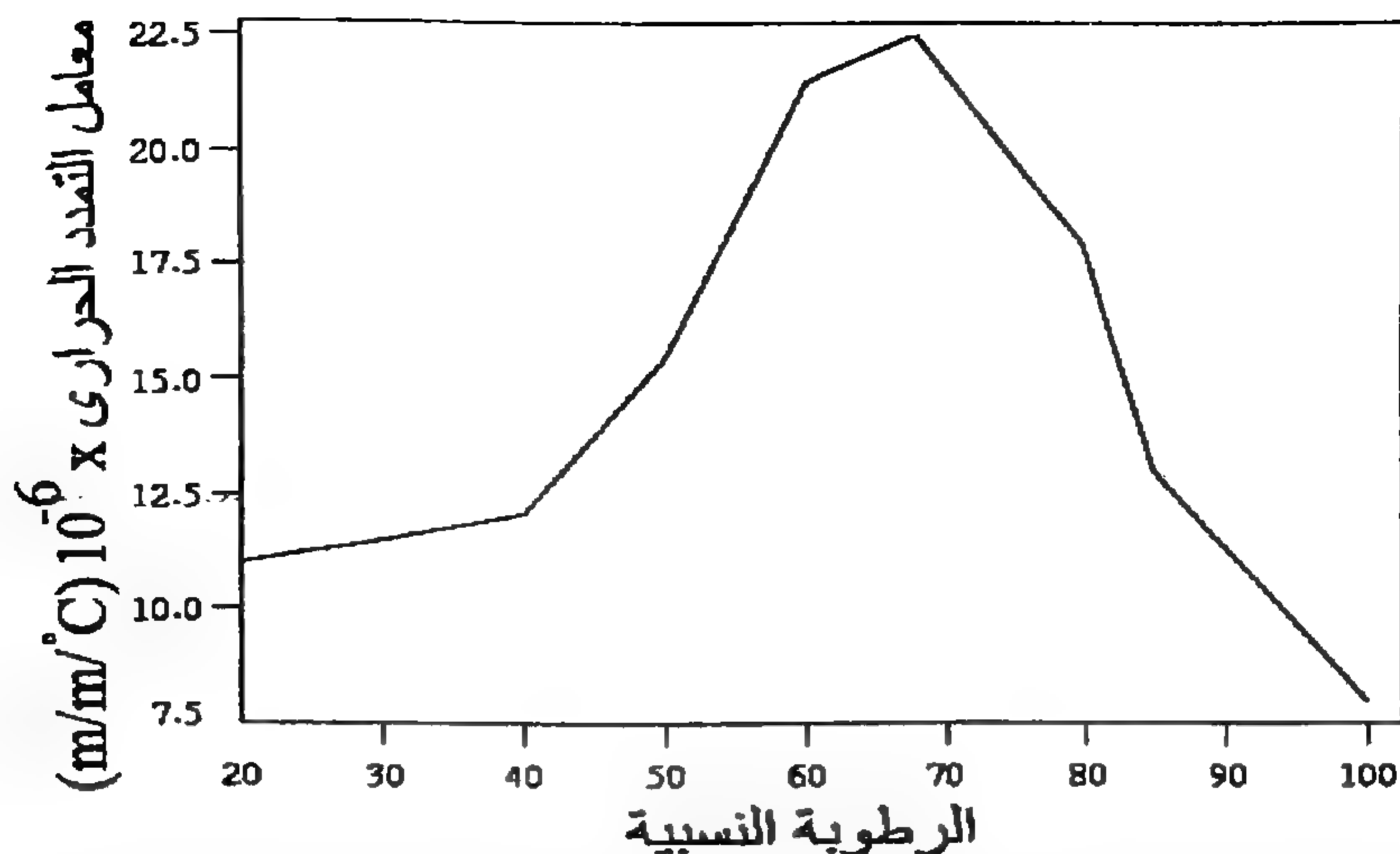
إن الخرسانة مثل أى مادة إذا ارتفعت درجة حرارتها، فإنه يحدث زيادة في طولها، ويسمى ذلك بالتمدد الحرارى. ويتوقف معامل التمدد الحرارى للخرسانة على نوع الركام وكمية العجينة والرطوبة النسبية المحيطة وطريقة معالجة الخرسانة ودرجة حرارة الجو نفسه. جدول (6-11) يحتوى على قيم معامل التمدد الحرارى لأنواع مختلفة من الركام والمعالجة.

جدول (6-11) قيم معامل التمدد الحرارى لخرسانة بنسبة أسمنت: ركام (1: 6) والقيم تُضرب في 10 - 6سم/سم/°م

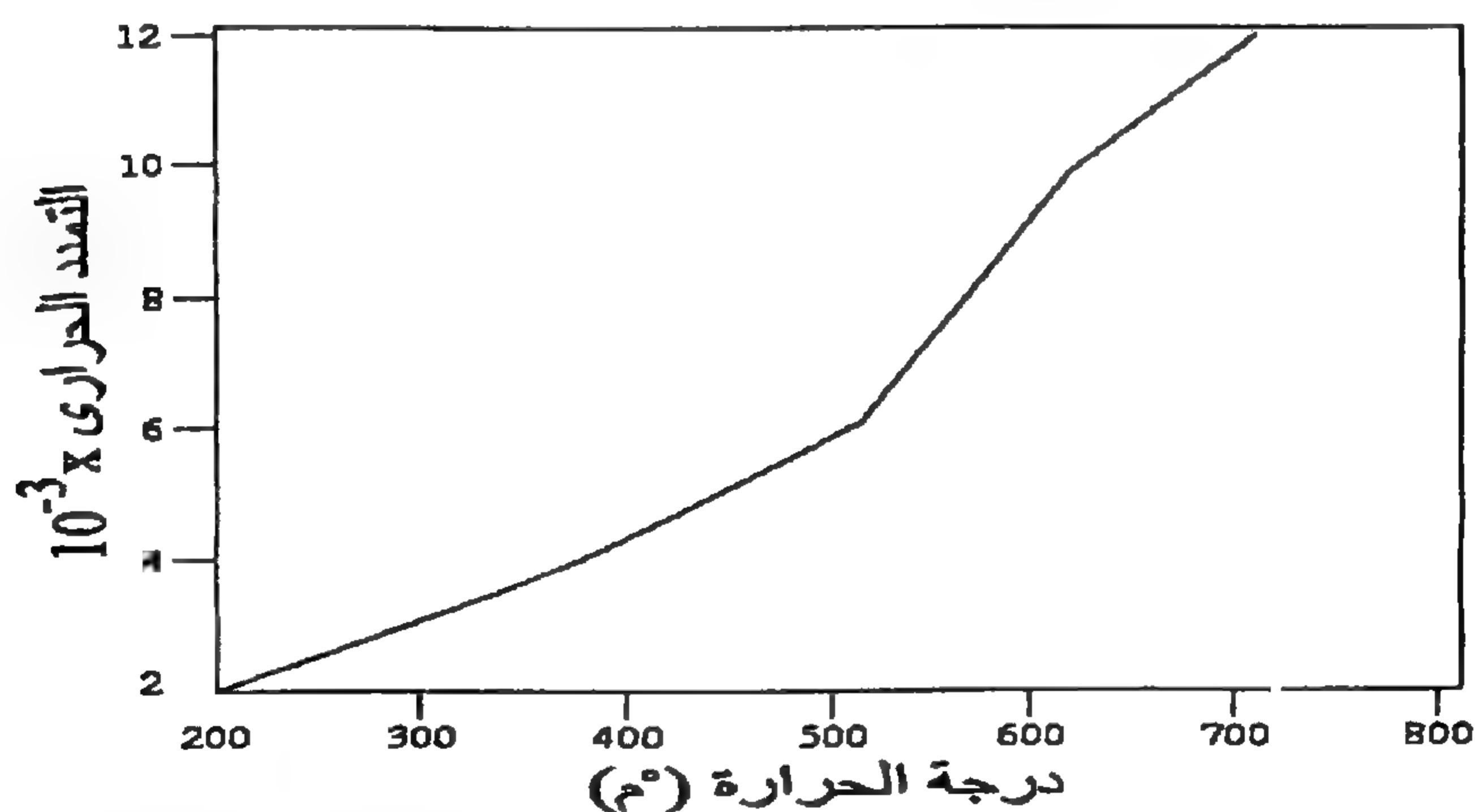
نوع الركام الكبير	خرسانة معالجة في الهواء	خرسانة معالجة في الماء	خرسانة معالجة في الهواء ولكنها مبللة
زلط	13.1	12.2	11.7
حجر رملى	11.7	10.1	8.6
حجر جبرى	7.4	6.1	6.5
خبث حديد	10.6	9.2	8.8
جرانيت	9.8	8.6	7.7

والجدول السابق يوضح أن خرسانة الحجر الجبرى تحقق أقل معامل تمدد حرارى. كما أن معالجة الخرسانة في الماء تقلل معامل التمدد الحرارى بالمقارنة بالمعالجة في الهواء. ويلاحظ أن خرسانة الزلط لها أعلى معامل تمدد. كما أنه يجب التنويه إلى أن عجينة الأسمنت المتصلدة مع الماء تحقق معامل تمدد حوالى 1.90 مرة معامل تمدد الخرسانة. شكل رقم (6-14) يوضح تأثير الرطوبة النسبية على معامل التمدد الحرارى لعجينة أسمنتية عمرها ستة أشهر.





شكل (6-14) تأثير الرطوبة النسبية على معامل التمدد الحرارى لعينة أسمنتية عمرها 6 شهور. وهذا الشكل يوضح أن معامل التمدد الحرارى يكون بأقصى قيمة في حدود رطوبة نسبية بين 50، 83%. ومن المهم التأكيد على أن معامل التمدد الحرارى يزيد زيادة كبيرة في حالة تعرض الخرسانة للحريق، ويتضح ذلك من شكل (6-15). وهذا يوضح خطورة الحريق الذى يؤدي إلى حدوث تمدد كبير.



شكل (6-15) تأثير درجة الحرارة المرتفعة على معامل التمدد الحرارى للخرسانة

## 6-11 مقاومة الخرسانة للحريق:

تتعرض المنشآت الخرسانية في بعض الأحيان للحريق. وترتفع درجة الحرارة المصاحبة للحريق وتصل لدرجات حرارة عالية إذا استمر الحريق لفترة طويلة. وارتفاع درجة الحرارة له تأثير سلبي على كل من الركाम والمونة الأسمنتية وصلب التسليح.

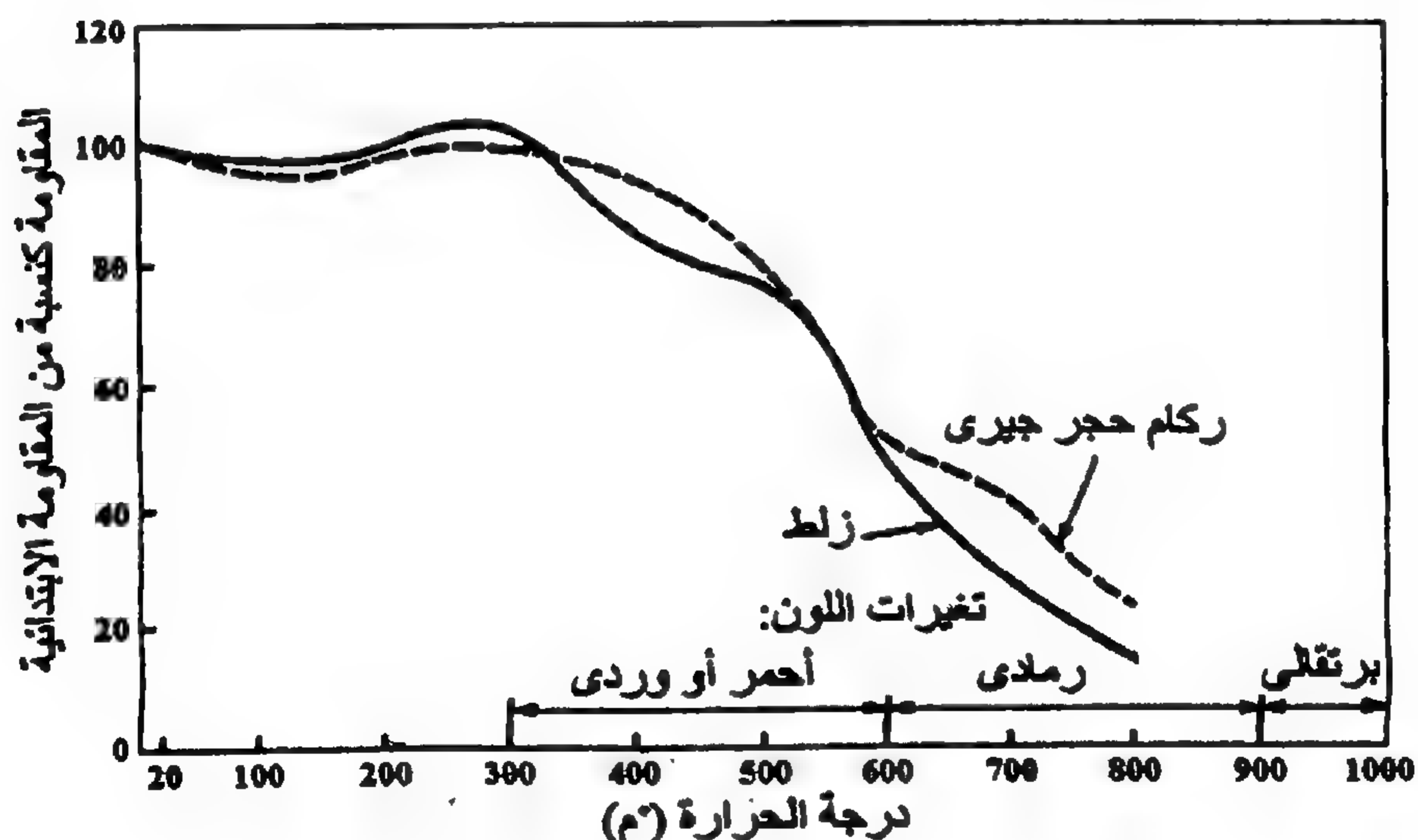
ويعتبر تأثير الحريق على صلب التسليح مدمر، حيث أنه يؤدي إلى نقص إجهاد الخضوع ومقاومة الشد (كمثال، عند درجة حرارة 430، 600 درجة مئوية يحدث نقص قدره 50% من إجهاد الخضوع لصلب تسليح الخرسانة سابقة الإجهاد وصلب التسليح العادي على الترتيب). بالإضافة إلى زيادة كبيرة في التشكل. ولذلك فإن وجود الخرسانة حول صلب التسليح هو الحماية الرئيسية لصلب التسليح. وكذلك فمن المهم رفع كفاءة الخرسانة في الحريق وزيادة سمك الغطاء الخرساني ليحمي صلب التسليح. ويجب على المهندس تقدير الحمل الحراري الواقع على العنصر الخرساني.

### 6-11 العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة للحريق:

وتعرف مقاومة الخرسانة للحريق بالفترة الزمنية التي خلالها تكون الخرسانة معرضة لمهاجمة الحريق، وتكون الخرسانة سلوكها جيد وتؤدي وظيفتها دون أن يفقد العنصر الخرساني وظيفته أو ينهار. ويمكن الحكم على هذه المقاومة من خلال عدة مقاييس ومنها القدرة على تحمل الأحمال الخارجية ومقاومة اختراق اللهب للخرسانة ومقاومة انتقال الحرارة.

#### 1- تأثير درجة الحرارة على مقاومة الضغط:

شكل (6-16) يوضح تأثير درجة الحرارة على مقاومة الضغط لكل من خرسانة الزلط وخرسانة الحجر الجيري.



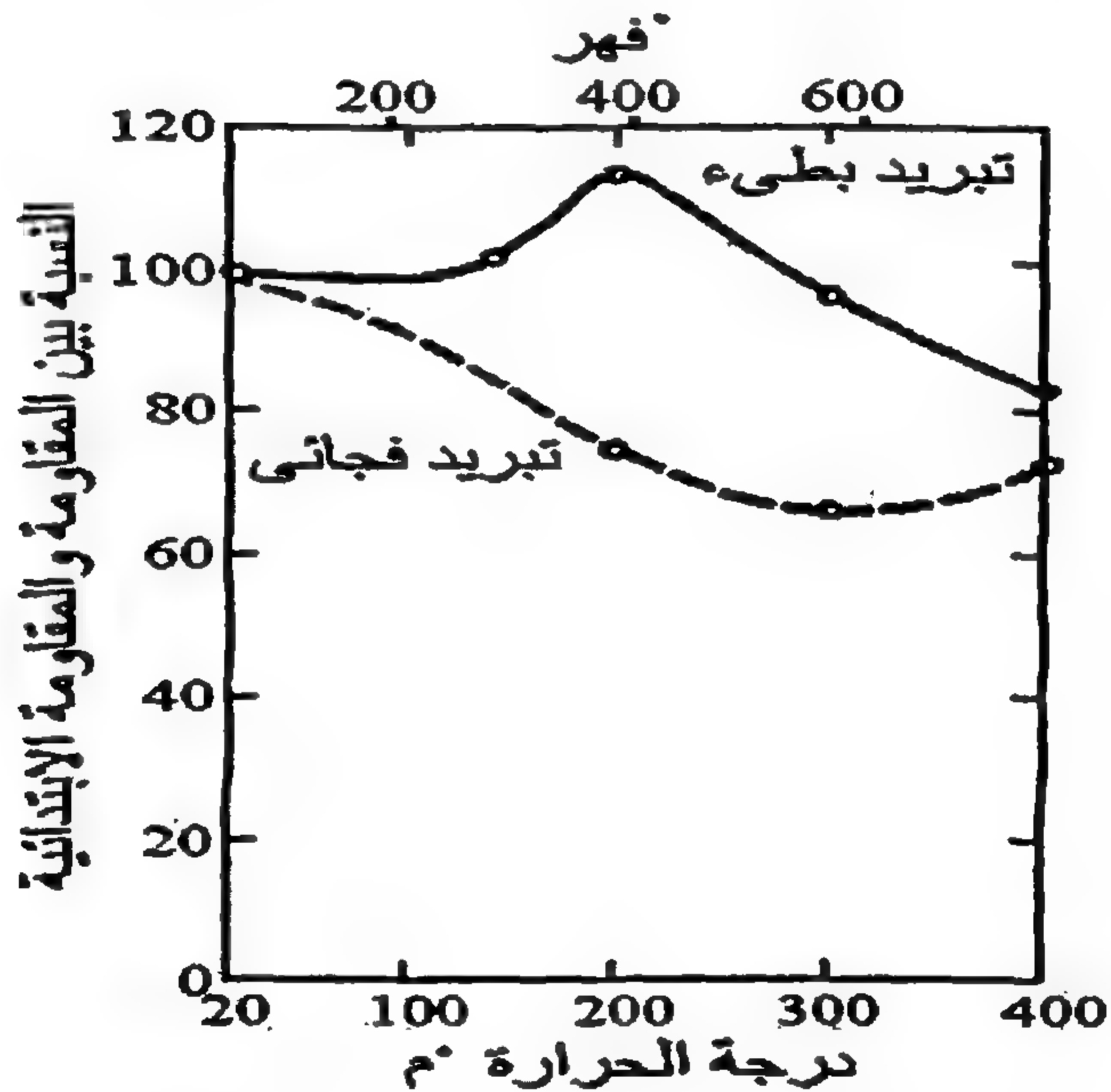
شكل (6-16) تأثير الحريق على مقاومة الخرسانة

وقد قام زولدنير بدراسة تغير اللون مع زيادة درجة الحرارة ويتضح من المنحنى أنه:

- رفع درجة الحرارة من درجة حرارة الغرفة وحتى 150 درجة مئوية تقريباً يؤدي إلى نقص في مقاومة الضغط، وذلك نتيجة تأثير زيادة درجة الحرارة على جل الأسمنت.

- من درجة حرارة 150 وحتى 280 درجة مئوية تقريباً تحدث زيادة طفيفة في مقاومة الضغط.
- من درجة حرارة حوالى 280 درجة مئوية وحتى 580 درجة مئوية تقريباً يحدث فقد لمقاومة الضغط نتيجة الحرق.
- من 580 درجة مئوية وحتى 800 درجة مئوية يحدث فقد في المقاومة بمعدل أكبر.
- عند 800 درجة مئوية تفقد خرسانة الزلط 85% من مقاومتها وتفقد خرسانة كسر الأحجار الجيرية 77% من مقاومتها.
- ويلاحظ عامة أن معدل فقد المقاومة لخرسانة الزلط تكون أكبر من الفقد في المقاومة في خرسانة الحجر الجيري وهذا ما أكدته الأبحاث الأخرى التى قام أبرامز بإجرائها.

وشكل (6-17) يوضح تأثير درجة الحرارة على مقاومة ضغط الخرسانة منسوبة إلى مقاومة الخرسانة للضغط عند 20 درجة مئوية لدرجات تبريد مختلفة.



شكل (6-17) تأثير معدل التبريد على مقاومة الخرسانة

وهذا الشكل يوضح أهمية الإسراع في إطفاء المنشأ، وبحيث لا يكون الإطفاء فجائى مثل استخدام الماء أو الماء البارد، ولتثبت الأبحاث أن استخدام ثلثي أكسي الكربون يقلل الخفض في مقاومة المنشأ. وأثناء عملية الإطفاء يجب تواجد خبير يلاحظ ظهور الشروخ أو حدوث ترخيم زائد أو تغير لون الخرسانة بحيث لا يحدث انهيار. وسوف نذكر تغير لون الخرسانة مع زيادة درجة الحرارة.

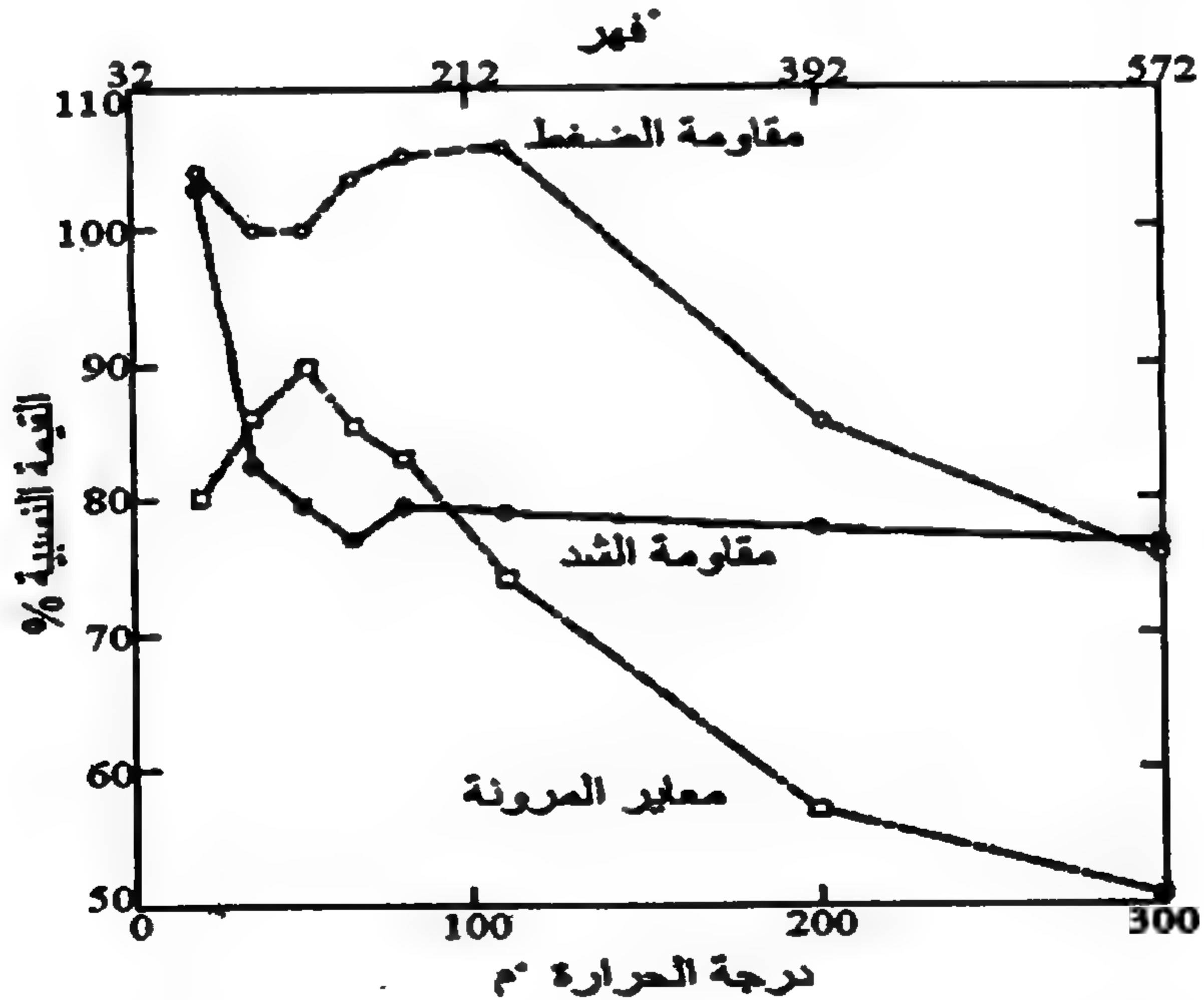
## 2- تأثير درجة الحرارة على لون الخرسانة:

ويلاحظ أن لون الخرسانة من 300 درجة مئوية وحتى 600 درجة مئوية يكون لون وردي أو أحمر، ثم يتحول للون الرمادي من 600 وحتى 900 درجة مئوية، ثم يتحول اللون إلى لون لامع حتى 1200 درجة مئوية، ثم يتحول اللون إلى اللون الأصفر إذا زالت درجة الحرارة عن 1200 درجة مئوية.

## 3- تأثير درجة الحرارة على مقاومة الشد ومعايير المرونة للخرسانة:

ولقد أثبتت الأبحاث التي قام بها قسامي (Kasami) وأوكينوا أن التخميف في مقاومة الشد للخرسانة يكون أكبر من التخميف في مقاومة الضغط عند نفس درجة حرارة الحريق.

أثبتت الأبحاث مثل الأبحاث التي قام بها قسامي أن التخميف الذي يحدث في معايير المرونة نتيجة الحروق يكون أكبر من التخميف الحادث في مقاومة الضغط. وشكل (6-18) يوضح تأثير درجة الحرارة على معايير المرونة النسبي ومقاومة الشد. وأثبت مارشال أنه عند 400 درجة مئوية حدث نقص في معايير المرونة قدره 6% من قيمته في درجة الحرارة العادية تقريباً. وبالرجوع للفقد المناظر في مقاومة الضغط نجد أنه يتراوح بين 7، 17%. ومن هذا يتضح أنه من المتوقع نتيجة الحريق أن تزيد تشكلات الكمرات والبلاطات.

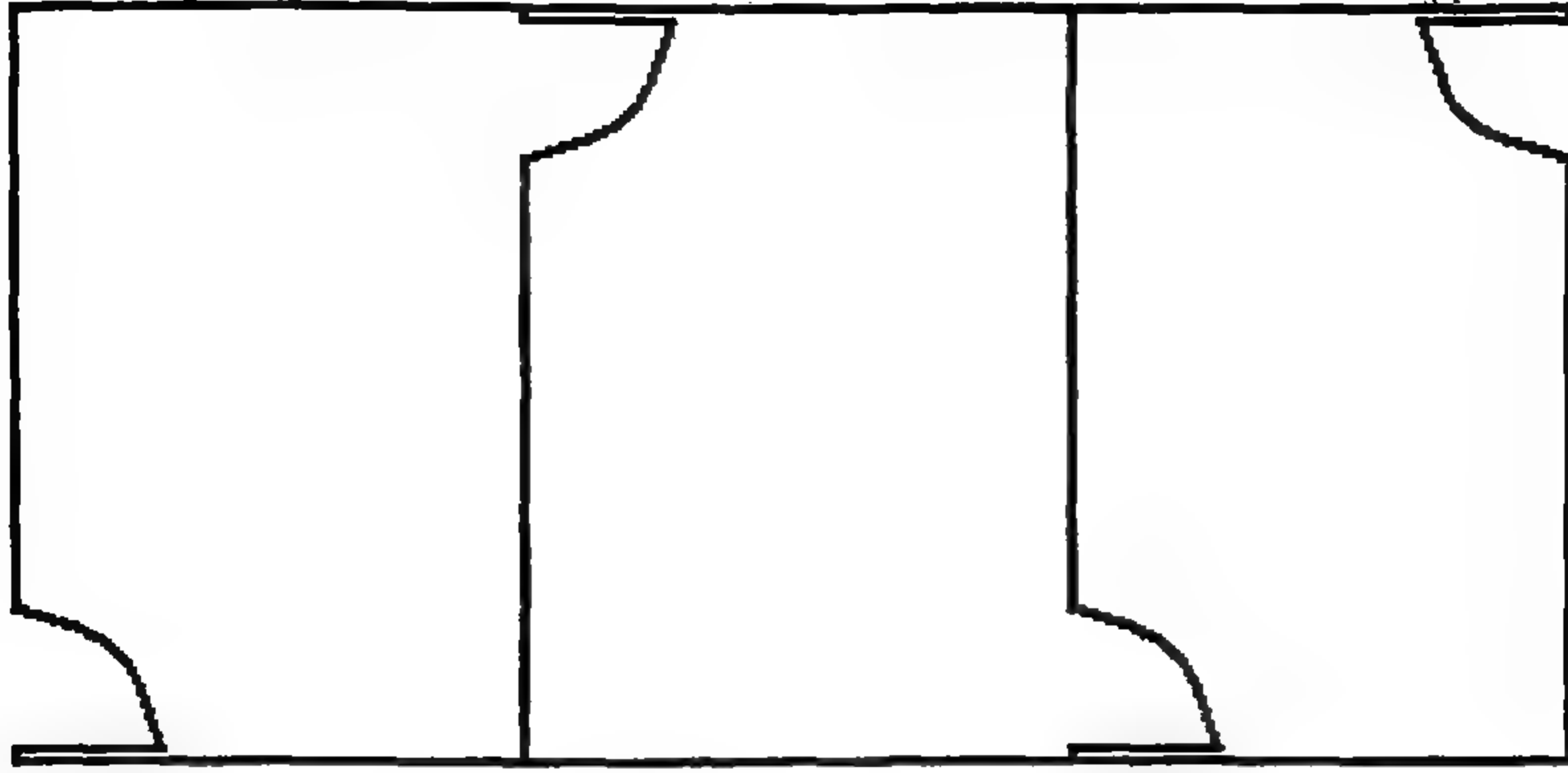


شكل (6-18) تأثير الحرارة على مقاومة الضغط ومقاومة الشد ومعايير مرونة الخرسانة

## 6-11-2 تحسين مقاومة المنشأ للحريق:

يمكن للمهندس تحسين مقاومة المنشأ للحريق عن طريق استخدام أحد أو بعض من التوصيات التالية مع استخدام غطاء خرساني مناسب:

1. تقليل الحمل الحرارى المتوقع للمبنى، عن طريق الإقلال على قدر الإمكان من المواد القابلة للحريق أو التى تنتج كمية كبيرة من الحرارة.
2. عمل تصميم معمارى يحصر الحريق فى مناطق محددة، بحيث لا يحدث انتشار للحريق فى باقى أماكن المنشأ. وشكل (6-19) يوضح مثال لتقسيم معمارى يحد من الحريق.



شكل (6-19) حصر الحريق بالتقسيمات المعمارية

3. استخدام أحجار جيرية أو دولوميت بدلاً من الزلط.
  4. فى حالة المنشآت الهامة مثل الفنادق الخمسة نجوم أو للمسارح أو المنشآت العسكرية، يفضل عمل مواد عازلة حول الأعضاء الخرسانية وخاصة الأعمدة. وتستخدم مواد عازلة للحرارة ثبت كفاءتها بشهادات معتمدة.
  5. استخدام غطاء خرسانى.
- يقوم المهندس بحساب الزمن المتوقع لوصول رجال الإطفاء، ويأخذ معامل أمان كاف، وبناء عليه يحدد مدة الحريق المطلوبة للمنشأ. وبناء على نوع العضو الخرسانى (عمود، كمر، بلاطة) يتم اختبار سمك الغطاء الخرسانى بالمليمتر، ويعطى الكود المصرى للخرسانة سمك الغطاء المناظر لمدة حمايه من الحريق سواء للخرسانة المسلحة أو سابقة الإجهاد. ويجب مراعاة ما يلى:
- أ- يراعى ألا يقل سمك الغطاء الخرسانى الأبنى لمقاومة الحريق عما هو وارد فى الكود المصرى للخرسانة رقم 203-2007، ولا عن قطر سيخ تسليح مستخدم.
  - ب- إذا زاد سمك الغطاء الخرسانى خارج الكانات عن 40مم، فقد ينفصل الغطاء الخرسانى، وعندئذ يلزم أخذ احتياطات لمنع حدوث الانفصال، مثل الحماية بطبقة من البياض مع تقليل سمك الغطاء أو استخدام شبكة من التسليح الإضافى على بعد 20مم من وجه الخرسانة.
  - ج- عند حماية الخرسانة بطبقة من البياض يؤخذ سمك طبقة البياض كغطاء خرسانى إضافى مكافئ، وذلك على النحو التالى:
    1. فى حالة البياض من المونة الأسمنتية أو الجبس، يؤخذ سمك طبقة البياض المكافئ مساوياً 0.6 سمك طبقة البياض الفعلى.
    2. فى حالة البياض بعازل خفيف الوزن كالفرميكوليت، يؤخذ كامل سمك طبقة البياض على ألا يزيد السمك المعتبر من طبقة البياض على 25مم.



## الباب السابع مقاومة الخرسانة (Concrete Strength)

### 7-1 مقدمة:

يتعرض المنشأ الخرساني لأنواع عديدة من الإجهادات. وقد تكون هذه الإجهادات إجهادات ضغط؛ كما في حالة الأعمدة، أو تكون إجهادات شد؛ كما في حالة الخزانات الدائرية، وقد تكون هذه الإجهادات مصاحبة بإجهادات انحناء. ويجب ألا تزيد قيم الإجهادات المتولدة في قطاعات المنشأ عن القيم التي تقاومها الخرسانة بأمان. وتعد الخرسانة مثالا للمواد القصيفة؛ التي تقاوم إجهادات الضغط بكفاءة ولكنها ضعيفة في مقاومة إجهادات الشد لدرجه يمكن إهمالها. وتقتصر معظم طرق تصميم القطاعات الخرسانية المسلحة أن مقاومة الخرسانة في الشد مهمة. لذلك في الأماكن التي تتواجد فيها إجهادات شد يستعان فيها بمادة أخرى تتحمل الشد مثل الصلب أو البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP). وهذا ما يحدث في تصميم القطاعات الخرسانية المسلحة. ويلاحظ أن الخرسانة تتعرض لإجهادات قص تجعل من الأهمية دراسة مقاومة الخرسانة لإجهادات القص.

ومما سبق يتضح أن مقاومة الخرسانة للضغط تلعب دوراً هاماً في أغلب المنشآت، حيث يعتمد عليها في مقاومة إجهادات الضغط.

ولذلك توصي معظم الكودات بأخذ مقاومة الضغط كمقياس لجودة الخرسانة وقبول أو رفض خرسانة المنشأ. ونظراً لارتباط المقاومات المختلفة للخرسانة بمقاومة الضغط؛ حيث كلما تحسنت مقاومة الضغط تحسنت المقاومات الأخرى، لذلك تم استنتاج علاقات مختلفة تربط مقاومة الضغط بالمقاومات الأخرى؛ مثل مقاومة شد الخرسانة ومقاومة القص. وبذلك يمكن استنتاج مقاومات الخرسانة المختلفة بالاستعانة بمقاومة الخرسانة.

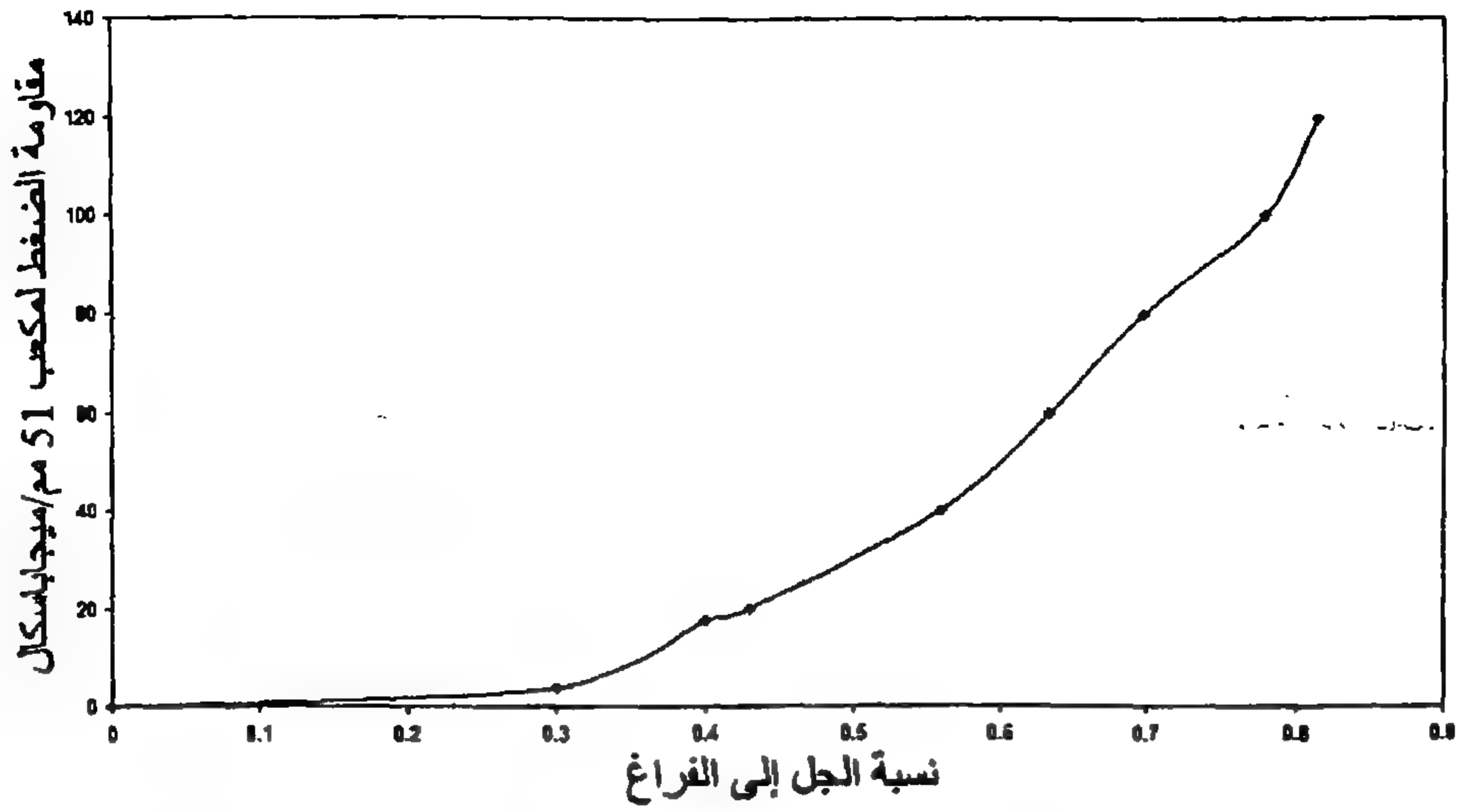
### 7-2 العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة للضغط:

1- تأثير نسبة الجل إلى الفراغات وتأثير نسبة الماء إلى الأسمنت:  
تعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة المادة الرابطة (جل الأسمنت المتصلد). وكلما نقصت W/C يزيد تركيز الجل وبالتالي المقاومة. وهناك علاقات كثيرة تربط نسبة الجل إلى الفراغات ونسبة الماء إلى الأسمنت. ومن هذه العلاقات:

$$X = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + W/C}$$

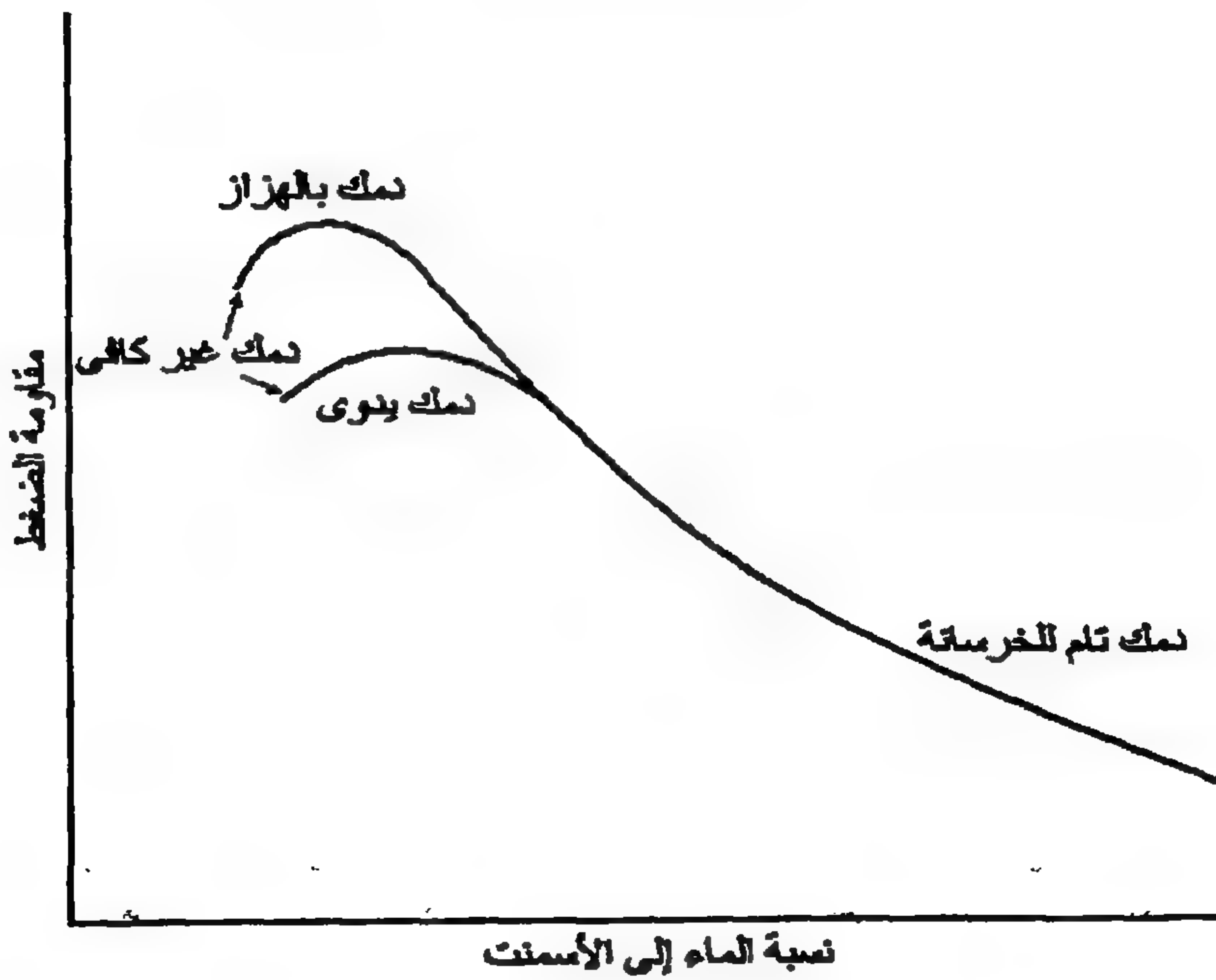
حيث X هي نسبة الجل إلى الفراغات و  $\alpha$  نسبة الأسمنت الذي تم إتمامه و كلما زادت نسبة الجل تزيد مقاومة الضغط.

والشكل (7-1) يوضح تأثير نسبة الجل إلى الفراغات على مقاومة الضغط.



شكل (1-7) تأثير نسبة الرمل إلى الفراغات على مقاومة الضغط

والشكل (2-7) يوضح تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على مقاومة الضغط.



شكل (2-7) شكل تخطيطي يوضح تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت على مقاومة الضغط

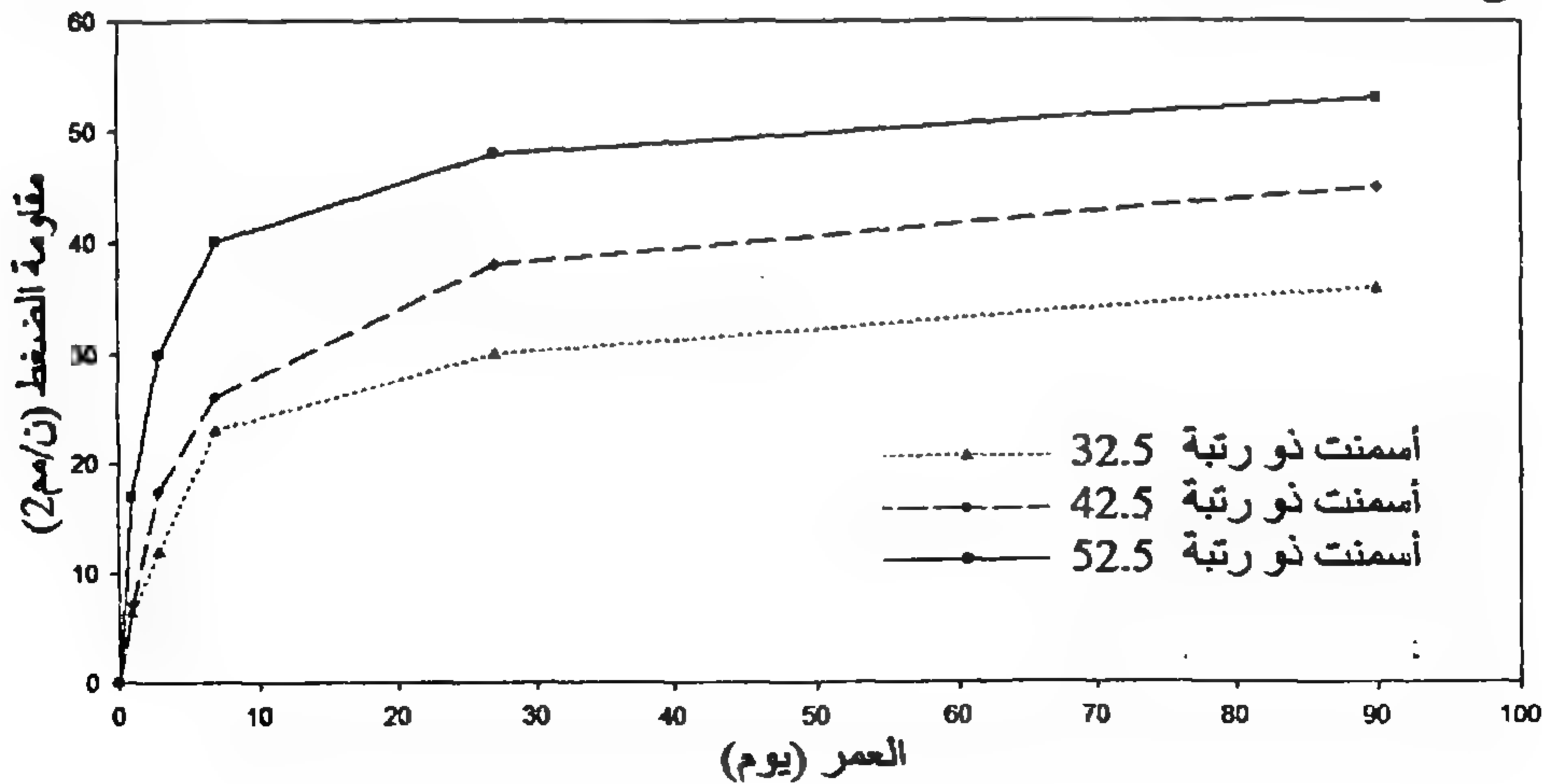
ومن شكل (7-2) يتضح أنه كلما زادت نسبة الماء إلى الأسمنت تقل المقاومة نتيجة زيادة نسبة الفراغات ونقصان تركيز الجل. ويلاحظ من الشكل كذلك أنه عند نقصان W/C عن قيمة معينة تبدأ مقاومة الضغط في النقصان نتيجة التشغيلية السيئة والدمك الغير كافي مما يزيد حجم الفراغات. ومن المهم التأكيد على أن الماء المستخدم لتحديد نسبة الماء إلى الأسمنت هو الماء الصافي، ولا يشمل الماء الذي يمتصه الركام. وقد قام أبرامز بعمل دراسات عديدة سنة 1919، وتوصل على إثرها لمعادلة لحساب مقاومة الضغط ( $f_{cu}$ ) كدالة من W/C كما يلي:

$$f_{cu} = \frac{K_1}{K_2^{W/C}}$$

حيث  $K_1, K_2$  ثوابت وضعية تمثل تأثير العوامل الأخرى على المقاومة.

## 2- تأثير خواص الأسمنت:

تعتمد مقاومة الخرسانة المكوّنة من الأسمنت البورتلاندي على تركيب ونعومة الأسمنت. ومن المعروف أن المكونين الأساسيين للأسمنت هما سيليكات ثلاثي وثلاثي الكالسيوم ( $C_3S, C_2S$ ). حيث تصل نسبتهما في الأسمنت إلى 80%. وكلما زادت نسبة سيليكات ثلاثي الكالسيوم، فإنه ينتج عن ذلك مقاومة مبكرة عالية. والعكس، فإنه كلما قلت نسبة سيليكات ثلاثي الكالسيوم وزادت سيليكات ثنائي الكالسيوم، أدى ذلك إلى الوصول إلى مقاومة الخرسانة ببطء. وقد وُجد أن ألومينات ثلاثي الكالسيوم ( $C_3A$ ) يُحسن من المقاومة المبكرة؛ نظراً لتفاعله مع الجبس والماء وتكوين مونوسلفوألومينات. ولذلك في حالة استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات (نسبة  $C_3A$  منخفضة) ومادة مؤجلة للشك، قد تكون المقاومة المبكرة ضعيفة جداً. وتؤثر نعومة الأسمنت على مقاومة الخرسانة، حيث أن زيادة المساحة السطحية تزيد النعومة؛ مما يؤدي إلى زيادة معدل إماهة الأسمنت، مما يكسب الخرسانة مقاومة كبيرة في الأيام الأولى. ويظهر ذلك في الأسمنت البورتلاندي سريع التصلد، حيث تزداد نعومة الأسمنت سريع التصلد، مما يجعله يصل إلى مقاومة انضغاط عالية في الأيام الأولى. وتؤثر رتبة الأسمنت تأثيراً مباشراً على اكتساب المقاومة. وشكل (7-3) يوضح تأثير رتبة الأسمنت؛ حيث يحقق الأسمنت 52.5 مقاومة أكبر من 42.5 و 32.5 خاصة المقاومة المبكرة التي يحققها الأسمنت 52.5.



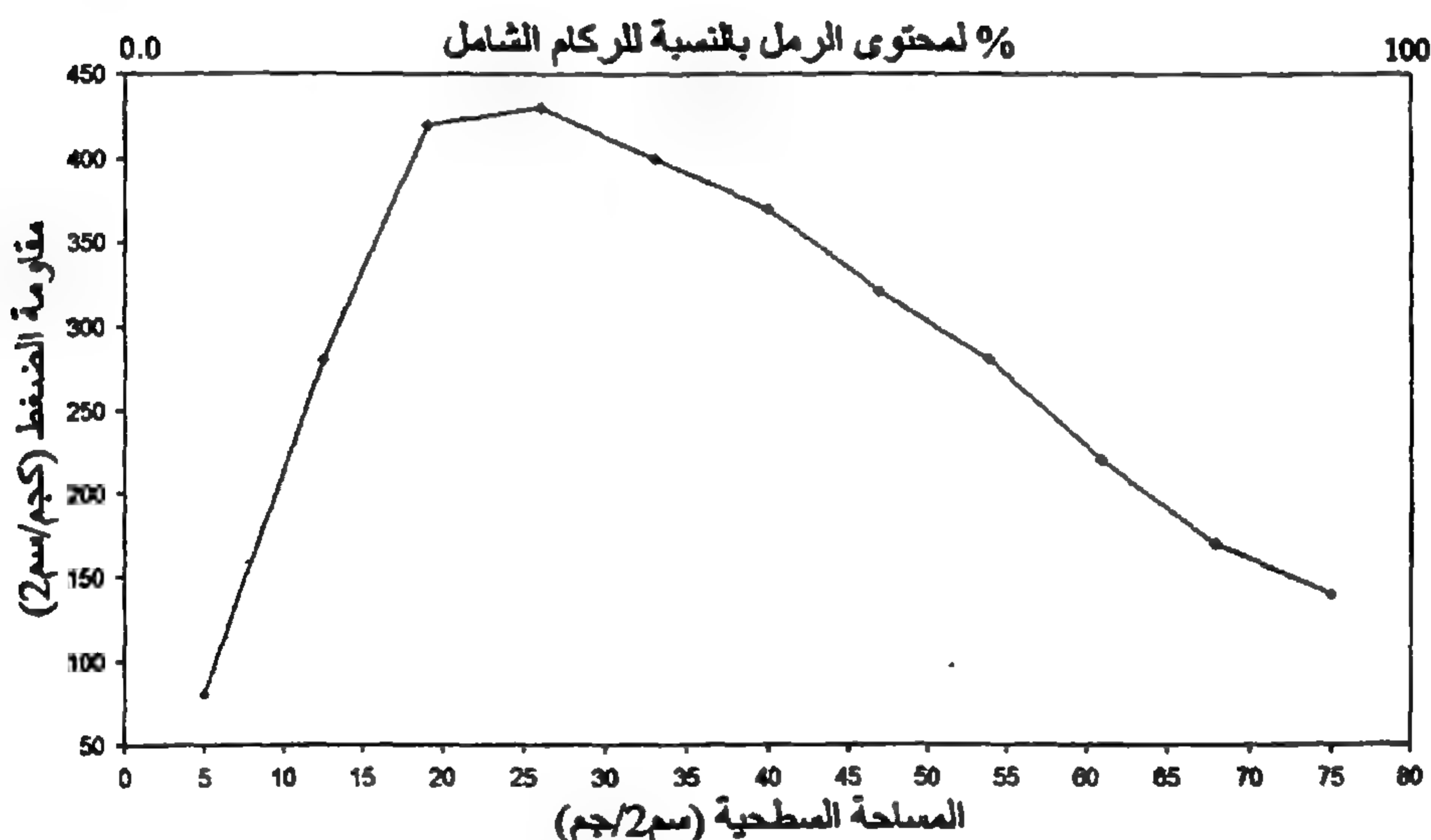
شكل (7-3) تأثير رتبة الأسمنت على مقاومة الخرسانة

وكما زادت نعومة الأسمنت تزيد مقاومته المبكرة.

### 3- تأثير الركام:

بالرغم من أن تأثير نسبة المياه إلى الأسمنت هو العامل الأكثر أهمية، إلا أنه لا يمكن إهمال تأثير الركام. ويؤثر نوع وتدرج الركام على مقاومة الخرسانة. ولكن مقاومة الركام للضغط غالباً لا تؤثر على مقاومة الخرسانة ذات المقاومة الضعيفة والمتوسطة؛ حيث تزيد مقاومة ضغط الركام غالباً على مقاومة انضغاط العجينة الأسمنتية.

ومن المعلوم أن استخدام رمل متدرج خشن يحقق مقاومة ضغط أعلى من الرمل الناعم. وكما زادت النسبة المئوية لمحتوى الرمل بالنسبة للركام الشامل، تقل مقاومة الضغط. ولذلك يجب عدم المبالغة في زيادة محتوى الرمل. ويؤثر المحتوى النسبي للركام الكبير والصغير على مقاومة الخرسانة؛ حيث أنه بزيادة نسبة الرمل تزيد المساحة السطحية وبذلك تقل المقاومة. وشكل (7-4) يوضح تأثير المساحة السطحية، ولذلك يفضل استخدام مساحة سطحية للركام تتراوح بين 25 و 35 سم<sup>2</sup>/جرام، إلا في حالة الخرسانات الخاصة مثل الخرسانة ذاتية الدمك حيث يزيد محتوى الرمال لتحقيق هدف آخر وهو عدم الانفصال.

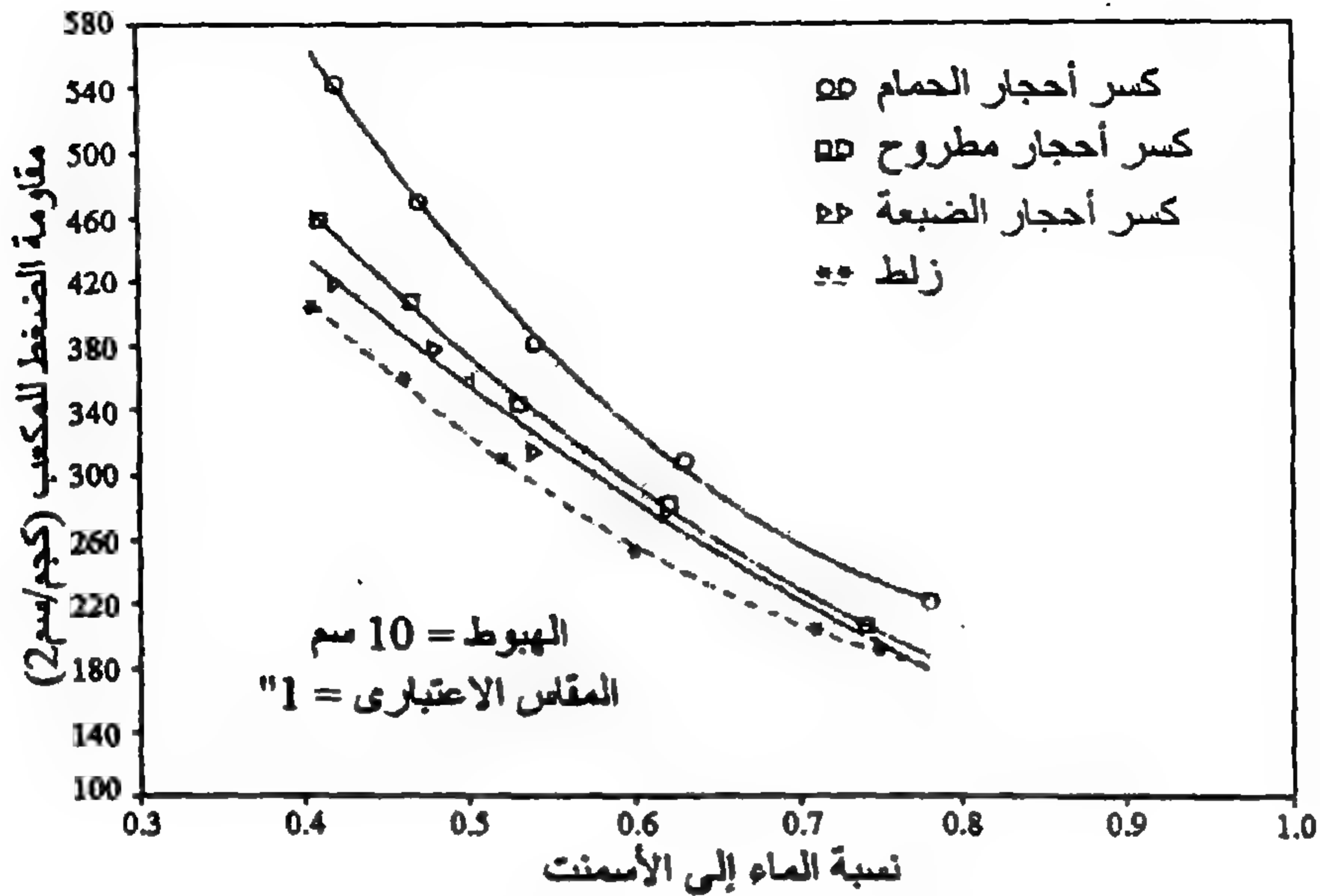


شكل (7-4) تأثير المساحة السطحية على مقاومة الخرسانة

يؤثر نوع الركام الكبير تأثيراً مباشراً على مقاومة الخرسانة، حيث أن الانهيار إما أن يحدث في المونة الأسمنتية أو يحدث في حبيبات الركام أو يحدث بين السطح الفاصل بين حبيبات الركام والمونة. ولذلك فإن الخرسانة الخفيفة المصنوعة من الطين القابل للتمدد (Expanded Clay) يحدث لها انهيار في الركام. بينما في حالة الركام الكبير ذو الصلادة العالية مثل الزلط، فإن الانهيار غالباً ما يتم نتيجة ضعف الترابط بين الزلط والمونة الأسمنتية. أما الركام ذو الصلادة العالية مثل الدولوميت، فإن الانهيار غالباً ما يحدث في المونة الأسمنتية.

ولقد أثبتت الأبحاث المجراه في جامعة الإسكندرية أن استخدام كسر الأحجار الجيرية الوردية اللون الصلبة في الخرسانة يحقق مقاومة ضغط أعلى من خرسانة الرطب. وذلك نظراً

نتحسن الترابط بين حبيبات كسر الأحجار والمونة الأسمنتية ولعوامل أخرى. وشكل (5—7) يوضح مقارنة بين خرسانة الزلط وخرسانة كسر الأحجار من محاجر مختلفة بمصر لنفس هبوط الخرسانة.



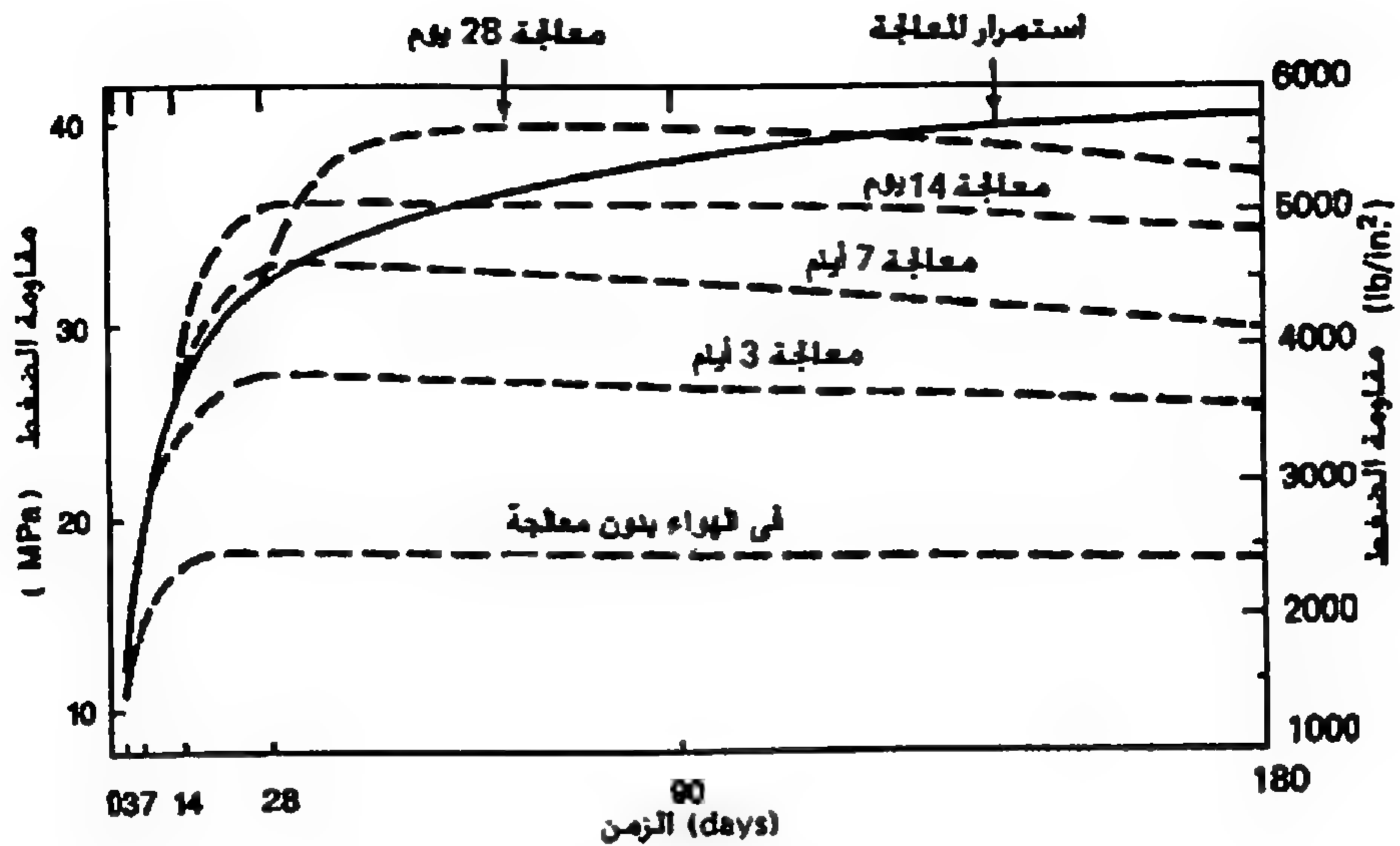
شكل (5—7) تأثير نوع الركام الكبير على مقاومة الضغط للخرسانة لنفس هبوط الخرسانة

ويرجع تحسن مقاومة خرسانة ركام الحجر الجيري الصلب كما سبق وأن ذكرنا لتحسن خواص الترابط بين المونة الأسمنتية وكسر الحجر الجيري الذي يتميز بالخشونة وبه قليل من المسامية، بالإضافة إلى وجود ترابط كيميائي بين الحجر الجيري ومونة الأسمنت. وقد وُجد أن تأثير نوع الركام الكبير يتوقف على نسبة الماء للأسمنت. فلنسبة  $W/C$  أقل من 0.4 نجد أن مقاومة الضغط لخرسانة كسر الأحجار أكبر من مثيلتها للزلط بحوالي 18%. ويقل هذا التأثير مع زيادة نسبة الماء إلى الأسمنت؛ حيث يتلاشى هذا التأثير تقريباً عند نسبة ماء إلى أسمنت 0.65.

#### 4- تأثير المعالجة:

يلزم معالجة الخرسانة بعد التصليد مباشرة لتعويض الماء المتبخر من الخلطة، لتأخير وتقليل الانكماش المبكر للخرسانة وتوفير ماء كافٍ لعملية الإماهة المستمرة للخرسانة. وكلما كانت المعالجة مبكرة (في الأيام الأولى) يؤدي ذلك للوصول إلى مقاومة الخرسانة المطلوبة، شكل (6—7)، والشكل يوضح أهمية معالجة الخرسانة حتى وإن غابت في الأيام الأولى.





شكل (6-7) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة

وتوجد عدة طرق لمعالجة الخرسانة من بينها:

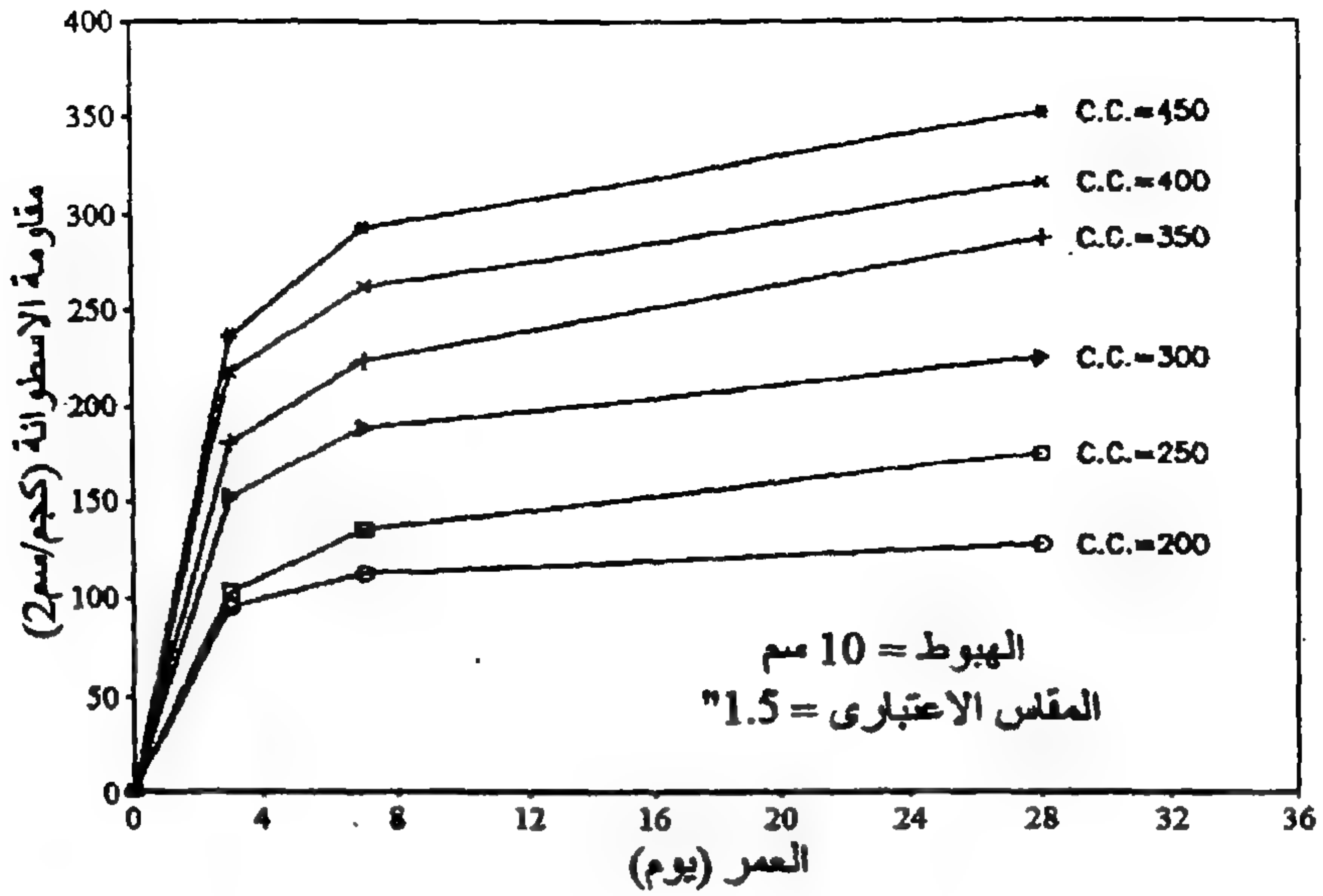
1. رش الخرسانة بالماء: وهذه الطريقة فعاليتها قليلة نظراً لعدم بلل الخرسانة بالماء باستمرار.
2. بلل الخرسانة: عن طريق تغليفها بواسطة خيش مبلل، وهي طريقة فعاليتها جيدة.
3. التغطية بطبقة من الرمال المشبعة بالماء.
4. الدهان بمواد تعمل على منع خروج الماء من داخل الخرسانة للخارج: ويجب التأكد من صلاحية تلك المواد قبل استخدامها، وغالباً ما تستخدم في حالة عدم توفر الماء للمعالجة.
5. المعالجة ببخار الماء: حيث تؤدي إلى تعجيل المقاومة المبكرة.

##### 5- تأثير الإضافات:

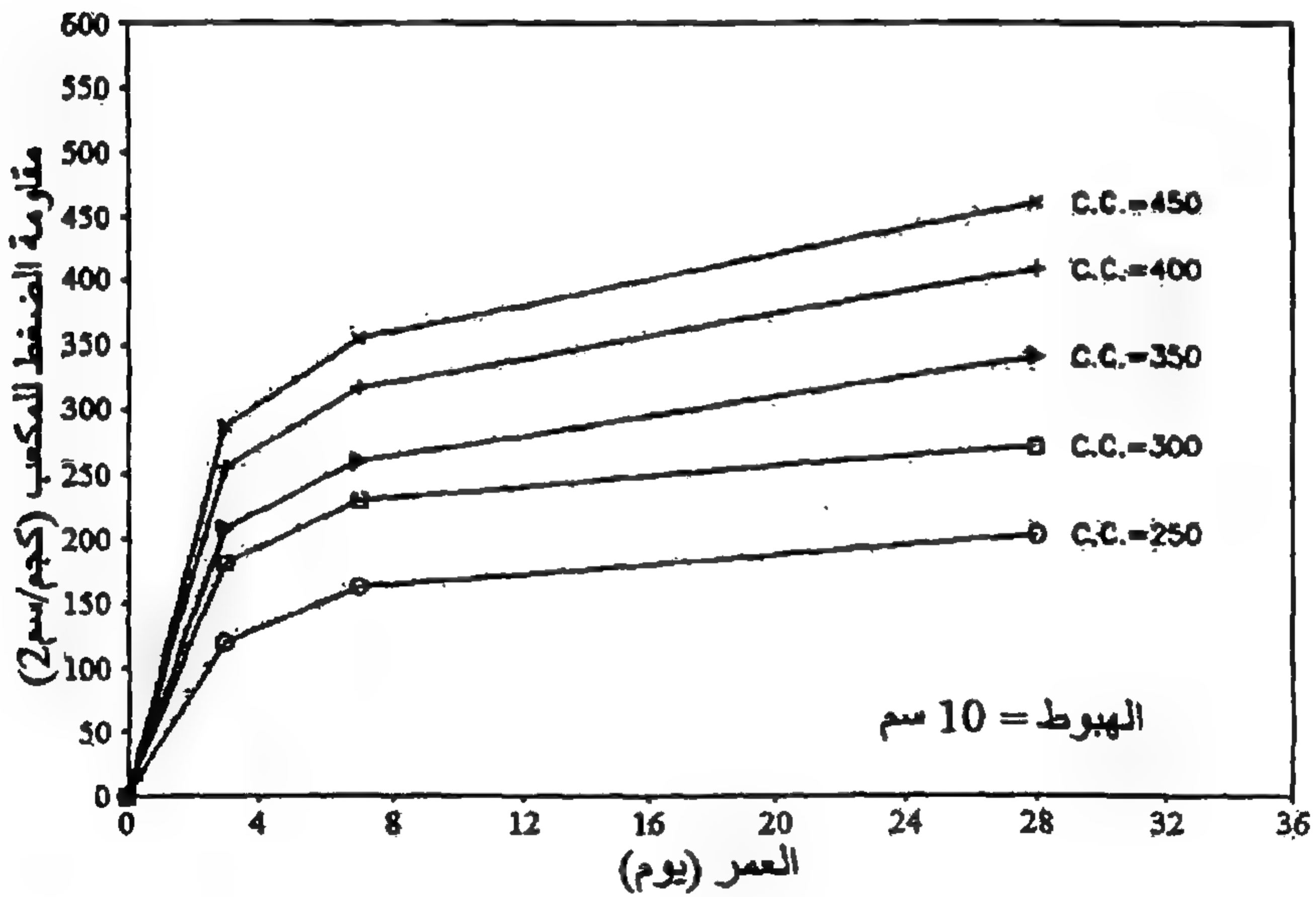
للإضافات الكيميائية والمعدنية تأثير على مقاومة الضغط. وسيتم التعرض لها في الباب الثامن.

##### 6- العمر:

كلما تقدم عمر الخرسانة تتحسن مقاومة الضغط، مالم تهاجم الخرسانة بمواد ضارة. ويتضح ذلك من شكل (6-7) و (7-7)، حيث أنه كلما تقدم عمر الخرسانة تزيد كمية الأسمنت المعالجة ويتكون مزيد من الجبل. وأثبتت الأبحاث استمرار زيادة مقاومة الخرسانة لفترة طويلة قد تصل لخمس سنوات إذا توفر ماء معالجة.



شكل (7-7 أ) العلاقة بين العمر ومقاومة الضغط للأسطوانة لمحتويات أسمنت مختلفة



شكل (7-7 ب) العلاقة بين العمر ومقاومة الضغط للمكعب لمحتويات أسمنت مختلفة

من المهم جداً بالنسبة للمهندس أن يتعرف على نسبة مقاومة الضغط للخرسانة عند عمر معين منسوبة إلى مقاومة 28 يوم. وهذا العامل بالطبع يتأثر بعوامل متعددة؛ مثل رتبة الأسمنت ونعومة الأسمنت وغنى الخلطة بمحتوى أسمنتها، والذي يتضح من شكل (7-7). وتزداد أهمية محتوى الأسمنت في

الخرسانة ذات المقاومة العالية حيث أنه لنفس الهبوط تتحسن المقاومة مع زيادة محتوى الأسمنت. ويجب على المهندس تحديد نسبة مقاومة الضغط لليوم لمقاومة الـ 28 يوم في حالة صب الخرسانة بالشدات النفقية، ونسبة المقاومة عند الثلاثة أو السبعة أيام بالنسبة للمقاومة عند 28 يوم للإنشاء العادى وذلك لفك الشدة. وهنا يختبر المهندس عينات الخرسانة عند يوم أو عند ثلاثة أيام أو سبعة أيام وباستخدام النسب التقريبية يتم توقع مقاومة الـ 28 يوم، وبناءً على ذلك يقرر المهندس هل سيتم صب الخرسانة للأعضاء اللاحقة إذا كانت المقاومة المتوقعة تحقق المقاومة المطلوبة، أم سيتم التوقف لدراسة أسباب نقص المقاومة المتوقع. وجدول (7-1) يوضح النسب السابق ذكرها مبنية على دراسة قام بها Meyer لأسمنت بورتلاندى عادى بدون أية إضافات .

جدول (7-1) نسبة مقاومة الضغط عند عمر معين إلى مقاومة الضغط عند عمر 28 يوم

0.40				0.60				0.80				نسبة الماء للأسمنت
28	7	3	1	28	7	3	1	28	7	3	1	للحجر يوم
1	0.78	0.57	0.19	1	0.7	0.4	12	1	0.7	0.4	0.09	نسبة المقاومة عند العمر إلى المقاومة عند 28 يوم

ويجب على المهندس فى الموقع تحديد تلك النسبة باستخدام نفس الخامات الموجودة فى الموقع واستخدامها بعد ذلك.

7- تأثير إجهاد الضغط العرضى (Lateral Stress):  
تتأثر مقاومة الخرسانة فى الضغط بوجود إجهاد عرضى أو إجهادات مركبة. وسوف يتم تناول هذا التأثير فى بند (7-6).

### 7-3 العوامل المؤثرة على اختبار مقاومة الضغط:

يحدد الكود المصرى نتيجة اختبار مقاومة الضغط لمكعب قياسى بأبعاد 150×150×150 مم كتجربة قياسية للتعبير عن مقاومة الضغط. ويحدد معهد الخرسانة الأمريكى نتيجة اختبار اسطوانة قياسية (قطر 150 مم وارتفاع 300 مم) فى الضغط للتعبير عن مقاومة الضغط. وهناك العديد من العوامل التى تؤثر على نتيجة اختبار الضغط نذكر منها ما يلى:

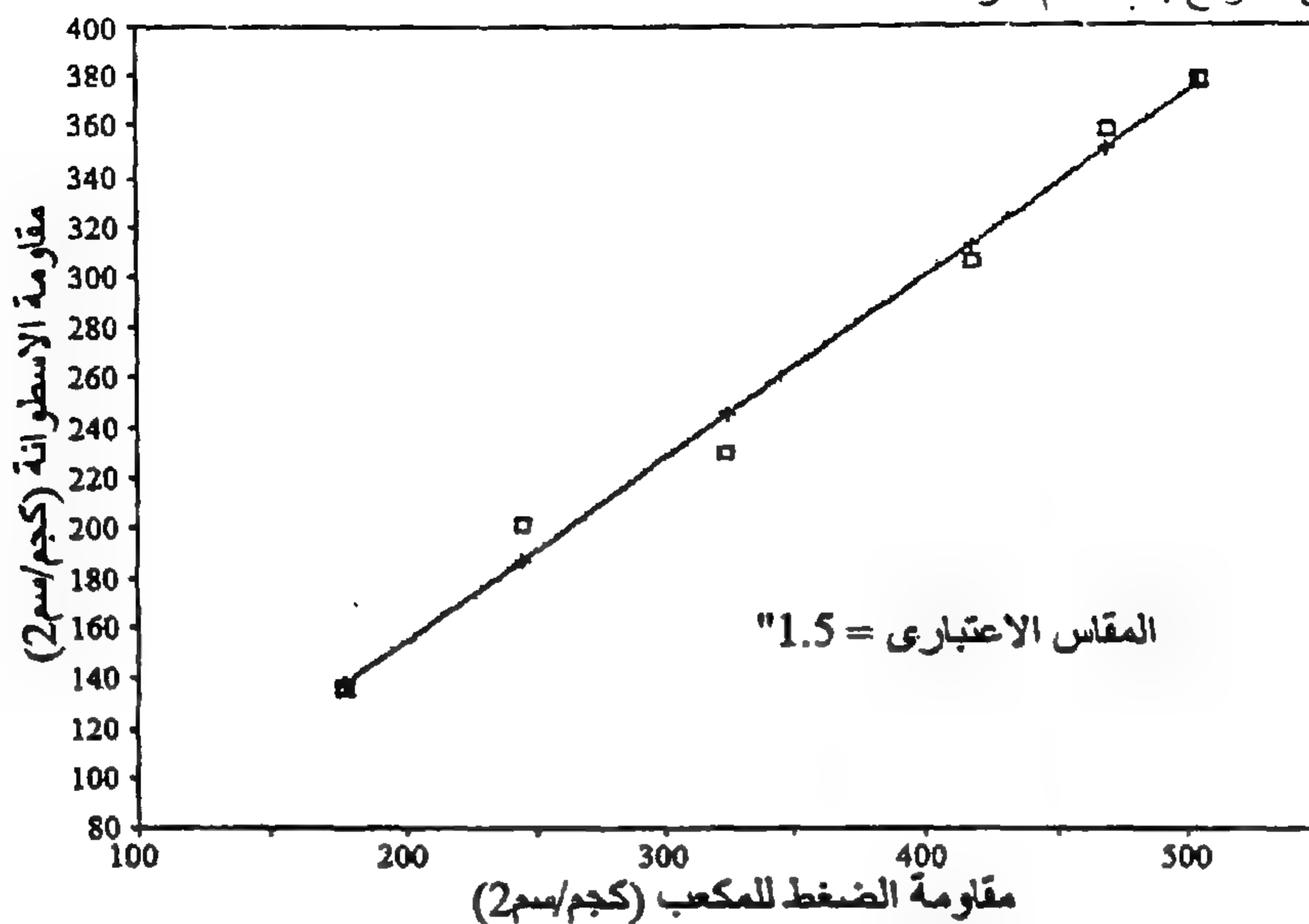
#### أ. شكل عينة الاختبار:

من الأبحاث والتجارب السابقة وُجد أن لنفس رتبة الخرسانة (خرسانة لها نفس المكونات ولها نفس ظروف الصب والاختبار)، فإن مقاومة ضغط الخرسانة للمكعب ( $F_{cu}$ ) أكبر من مقاومة الضغط للاسطوانة ( $F_{cy}$ ). والفرق فى المقاومة بينهما يقل مع زيادة مقاومة الخرسانة. ويمكن استخدام المعادلة التالية للربط بين المقاومتين.

(المقاومات ن/مم<sup>2</sup>) .....

$$F_{cy} = F_{cu} (0.76 + 0.20 \log \frac{F_{cu}}{20})$$

وشكل (7-8) يوضح احدى العلاقات بين مقاومة الضغط للمكعب ومقاومة الضغط للأسطوانة، والتي تتغير كثيراً بمستوى مقاومة الضغط والمقاس الاعتباري الأكبر للركام ونسبة الارتفاع للقطر بالنسبة للأسطوانة. ولذلك يفضل أن يقوم المهندس بتحديد هذه النسبة في الموقع باستخدام خرسانة المنشأ.



شكل (7-8) العلاقة بين مقاومة ضغط المكعب ومقاومة الاسطوانة

ب. نسبة الارتفاع للقطر  $(\frac{h}{d})$ :

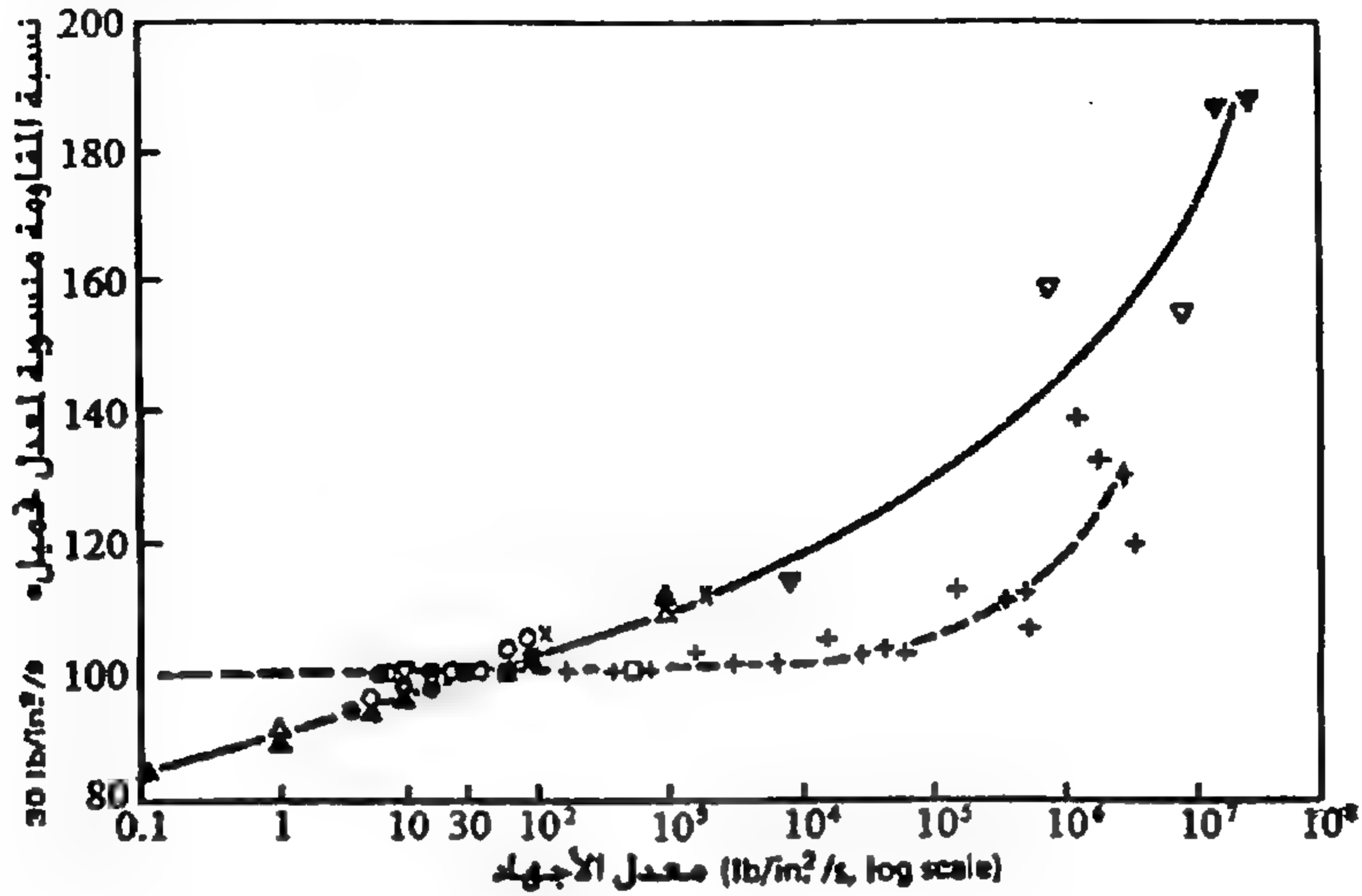
كلما زادت نسبة الارتفاع للقطر تقل مقاومة الضغط. وكثيراً ما يتعرض المهندس لاختبار عينات غير قياسية. وفي تلك الحالة فيجب عليه استخدام معامل تصحيح للمقاومة لتحويل العينة الغير قياسية إلى نتيجة مقاومة اسطوانة قياسية  $(\frac{h}{d} = 2.0)$ . وجدول (7-2) يحتوى على قيم التصحيح المنصوص عليها في المواصفات البريطانية (BS) وهيئة المواد الأمريكية (ASTM).

جدول (7-2) معامل تصحيح نتائج اسطوانة غير قياسية إلى اسطوانة قياسية

معامل التصحيح		نسبة الارتفاع إلى القطر $(\frac{h}{d})$
BS 1881-1970	ASTM C 42-77	
1.00	1.00	2.00
0.98	0.98	1.75
0.96	0.96	1.50
0.94	0.93	1.25
0.92	0.87	1.00

ج. معدل التحميل:

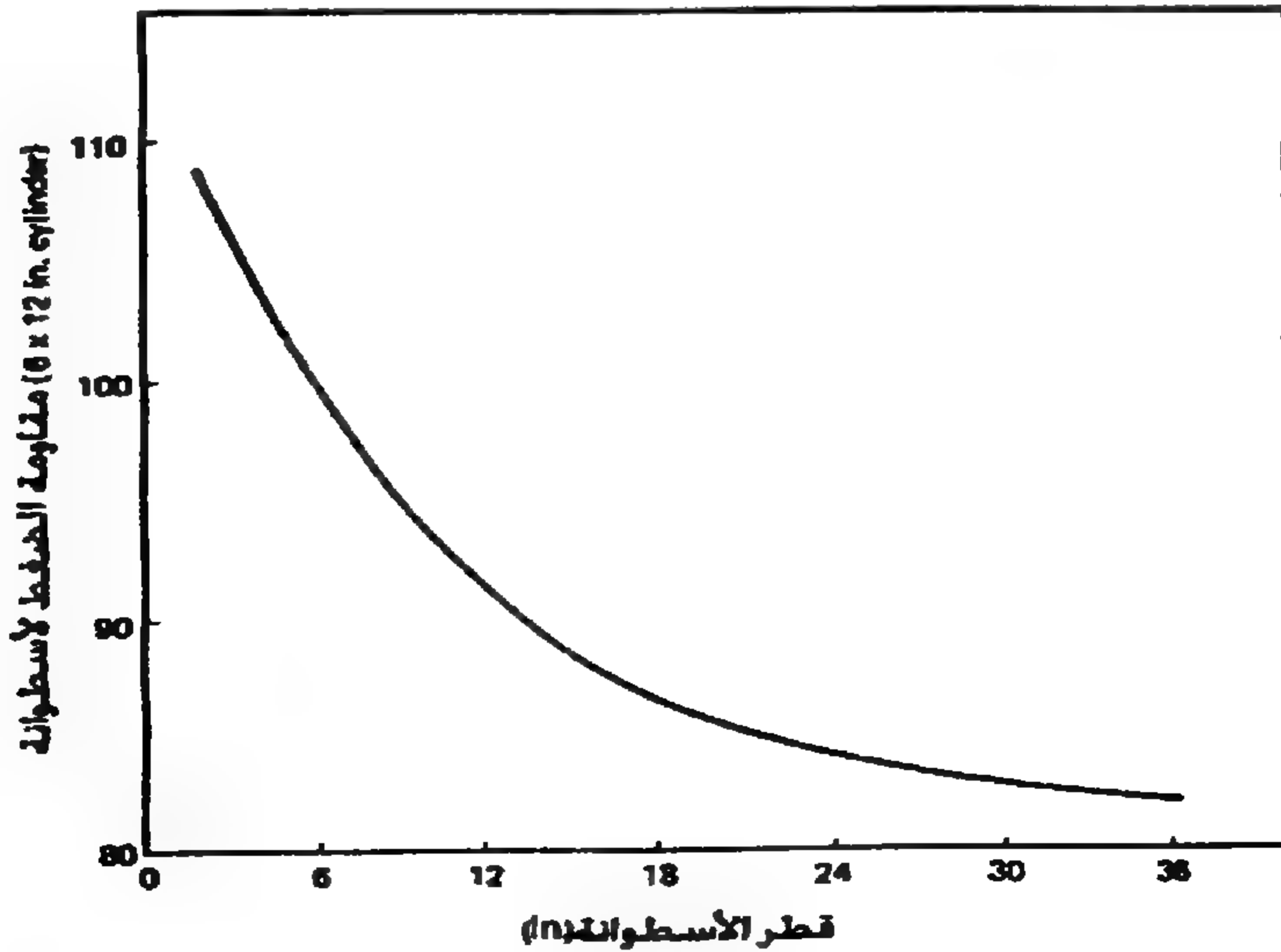
يجب أن يلتزم من يقوم بإجراء الاختبار بتحميل العينات، بمعدل التحميل التي تنص عليه المواصفات القياسية؛ لأنه إذا تم التحميل بمعدل أعلى فإن المقاومة سوف تزيد زيادة كاذبة والعكس صحيح. وشكل (7-9) يوضح تأثير معدل التحميل على النسبة بين مقاومة الضغط عند معدل تحميل معين والمقاومة عند معدل تحميل 30 رطل/بوصة<sup>2</sup>/ثانية.



شكل (7-9) تأثير معدل التحميل على نسبة مقاومة الضغط

د. مقياس عينة الاختبار:

يؤثر مقياس عينة الاختبار تأثير مباشر على مقاومة ضغط الخرسانة، حيث تتحسن المقاومة كلما نقصت أبعاد العينة. وشكل (7-10) يوضح تأثير قطر الاسطوانة على مقاومة الضغط.



شكل (7-10) تأثير قطر الاسطوانة على مقاومة الضغط



## 4-7 مقاومة شد الخرسانة Tensile Strength :

بعض المنشآت والعناصر لا يسمح فيها بظهور الشروخ تماماً (مثل خزانات السوائل والرصف الخرساني)، وفي بعضها يسمح بشرخ سمكه محدود جداً. وفي تلك الحالة فإن الخرسانة يجب أن تكون لها مقاومة شد جيدة تكون قادرة على تحمل إجهادات الشد بأمان. وعموماً فإن مقاومة الشد يمكن تحديدها بالشد المباشر للأغراض البحثية فقط. حيث يتم الحاجة لاحتياطات خاصة لمسك عينة الاختبار، ويمكن تحديد مقاومة الشد بطريقة غير مباشرة عن طريق اختبار شد الانفصال (أو شد الانفلاق كما يذكر في بعض المراجع) (Splitting Tension Test)، أو عن طريق تحديد معايير الكسر (Modulus of Rupture)، وذلك بإجراء اختبار الانحناء كما سيسرد لاحقاً. وأثبتت الأبحاث أن مقاومة الشد المباشرة = 0.85 من مقاومة شد الانفصال، وأن مقاومة الشد = 0.60 من مقاومة معايير الكسر.

### 4-7-1 مقاومة معايير الكسر:

(Modulus of Rupture Strength) (Flexural Strength):

تعرف مقاومة معايير الكسر بأنها أقصى إجهاد شد تتحملة الخرسانة في جهة الشد عند تعرض الخرسانة لأحمال انحناء. ويمكن تحديدها عملياً عن طريق اختبار منشور بأبعاد (500×100×100 مم) في الانحناء إما بتحميل ثلاثي (Three Points Loading)، أو بتحميل رباعي (Four Points Loading). ويُحسب معايير الكسر ( $f_{lu}$ ) من المعادلة:

$$f_{lu} = \frac{M_u \cdot y}{I}$$

حيث

←  $M_u$  = عزم الانهيار للمنشور.

←  $y = \frac{1}{2} l$  = عمق المنشور = 50 مم.

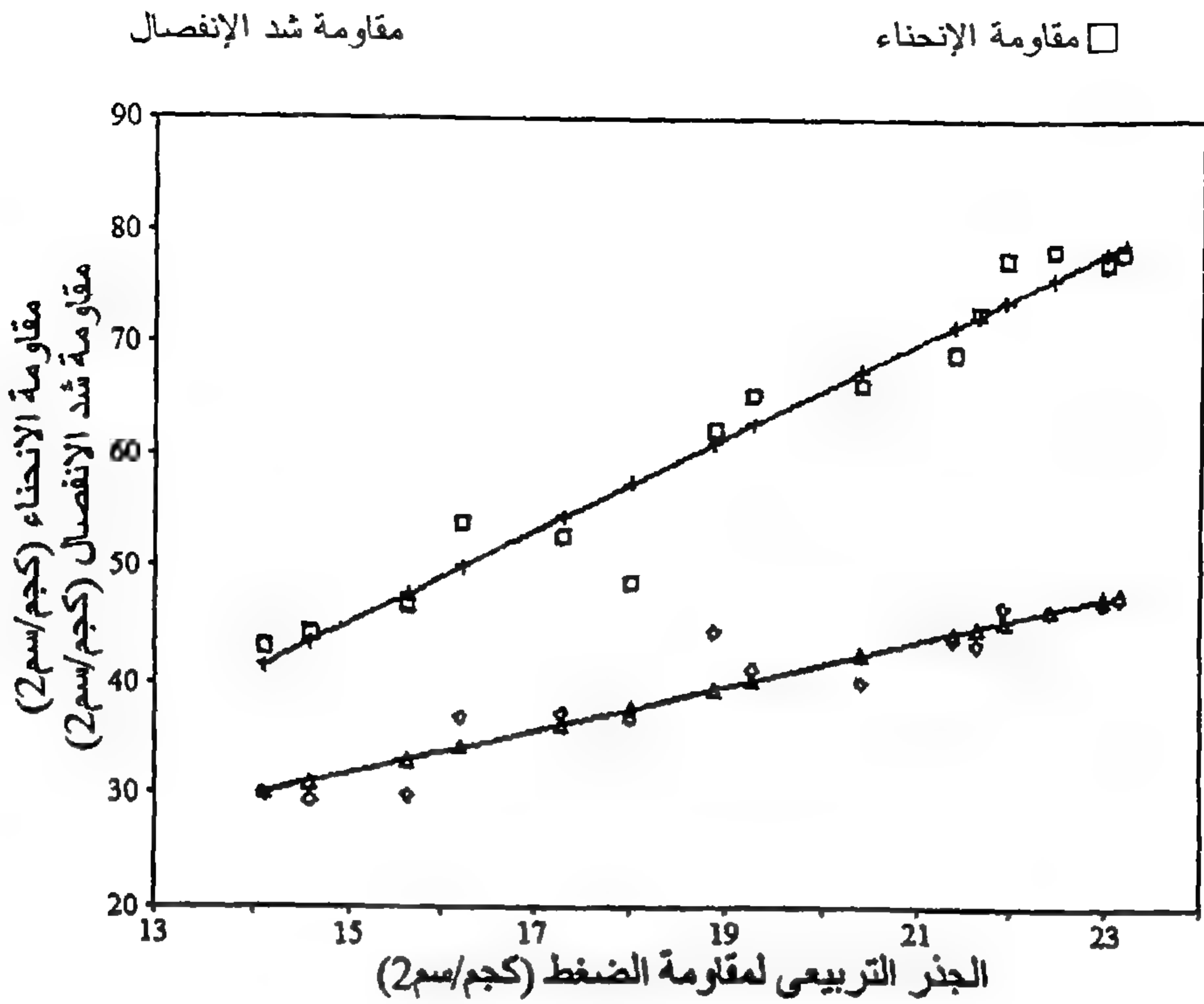
←  $I =$  عزم القصور الذاتي للمنشور =  $\frac{100^4}{12}$ .

ويلاحظ أن هناك ارتباط وثيق بين مقاومة الضغط ومقاومة معايير الكسر. فكلما زادت مقاومة الضغط تزيد مقاومة معايير الكسر لكن بمعدل متناقص، كما هو موضح في شكل (7-11).

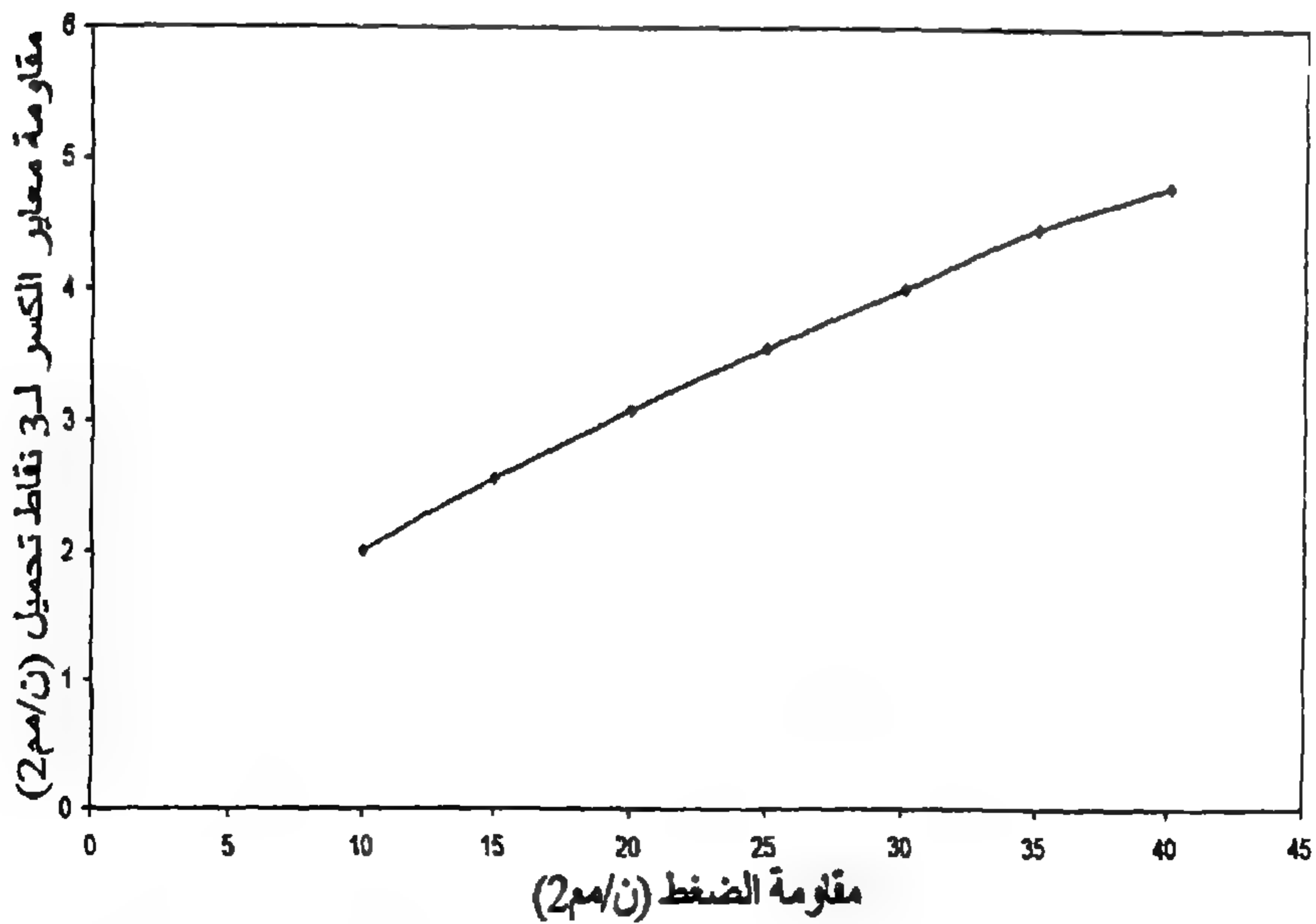
والخرسانة المستخدمة في أعمال الخرسانة المسلحة ذات مقاومة ضغط أكبر من 20 ن/مم<sup>2</sup>، تتراوح مقاومة الانحناء بين 0.07 ، 0.16 من مقاومة الضغط. أما للخرسانة ذات المقاومة الضعيفة (أقل من 20 ن/مم<sup>2</sup>)، والتي غالباً ما تستخدم في أعمال الخرسانة العادية، فتتراوح تلك النسبة بين 0.16 ، 0.20. وينص الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية على حساب مقاومة الانحناء من المعادلة التالية :

$$f_{lu} = 0.6 \sqrt{f_{cu}}$$

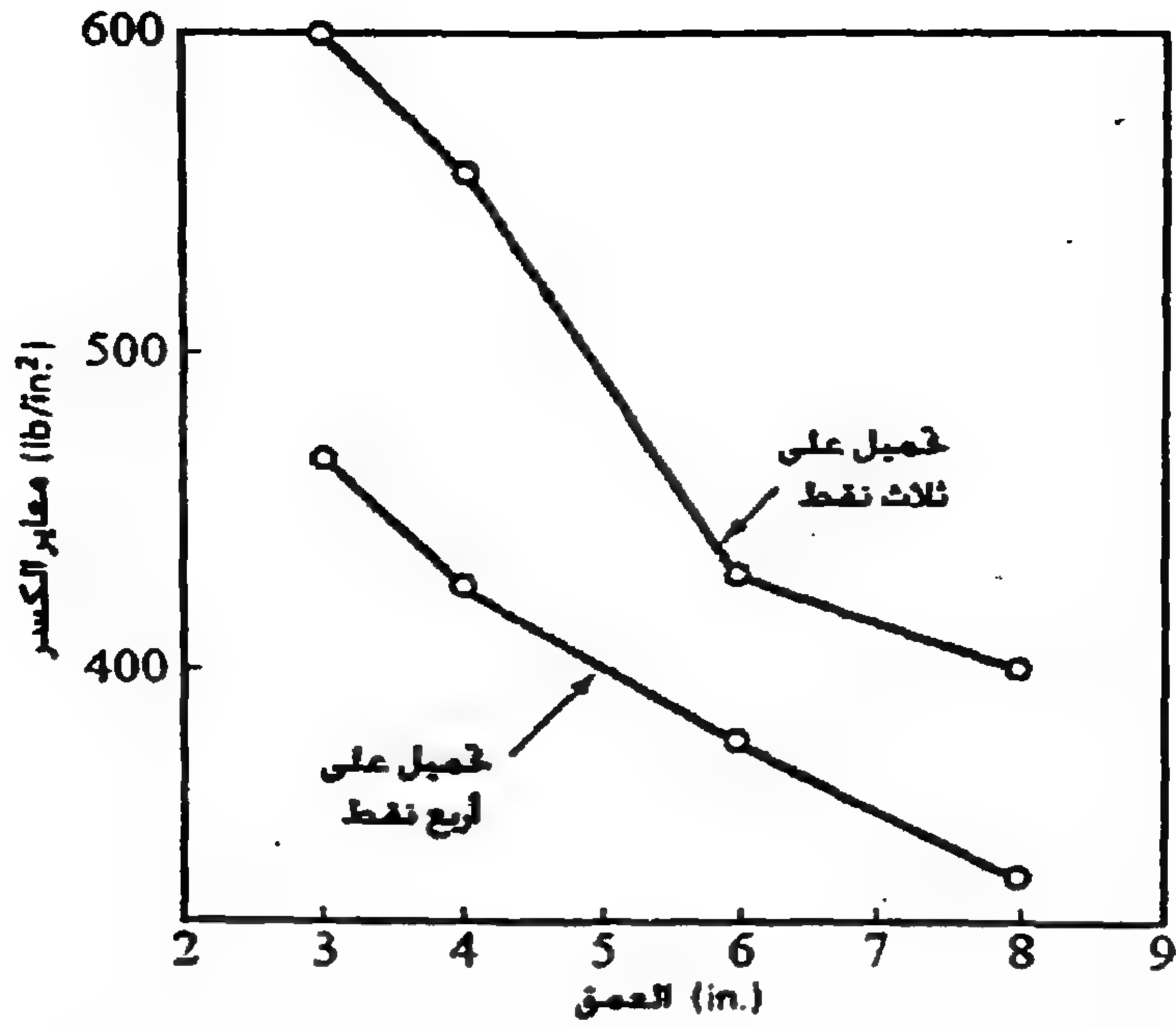
وتؤثر طريقة التحميل على نتيجة الاختبار، حيث أن قيم معايير الكسر في التحميل الثلاثي أكبر من القيم المأخوذة من التحميل الرباعي بمقدار تتراوح بين 12، 30%، انظر شكل (7-12). كما أن الركام المكسر يحقق مقاومة انحناء أفضل من الركام الدائري.



شكل (7-11-أ) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء ومقاومة شد الانفصال لكسر أحجار من منطقة الحمام

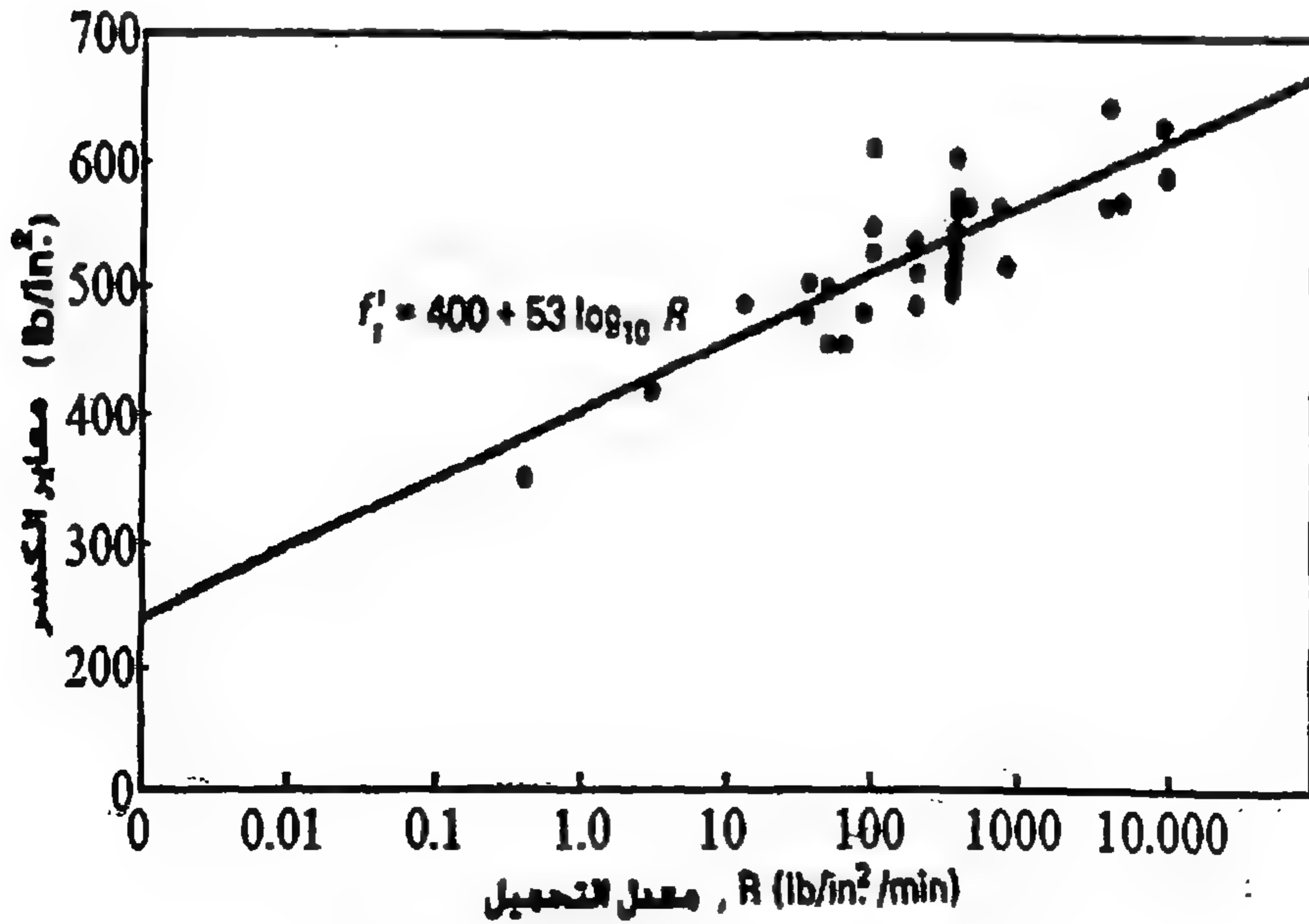


شكل (7-11-ب) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة معايير الكسر



شكل (12-7) تأثير عمق الكمره ونوع التحميل في الانحناء على معايير الكسر

كما أن معدل التحميل في الانحناء يؤثر تأثيراً ظاهرياً على مقاومة الانحناء، ويتضح ذلك من شكل (13-7)، حيث أنه كلما زاد معدل التحميل زاد معايير للكسر.



شكل (13-7) تأثير معدل التحميل على معايير الكسر

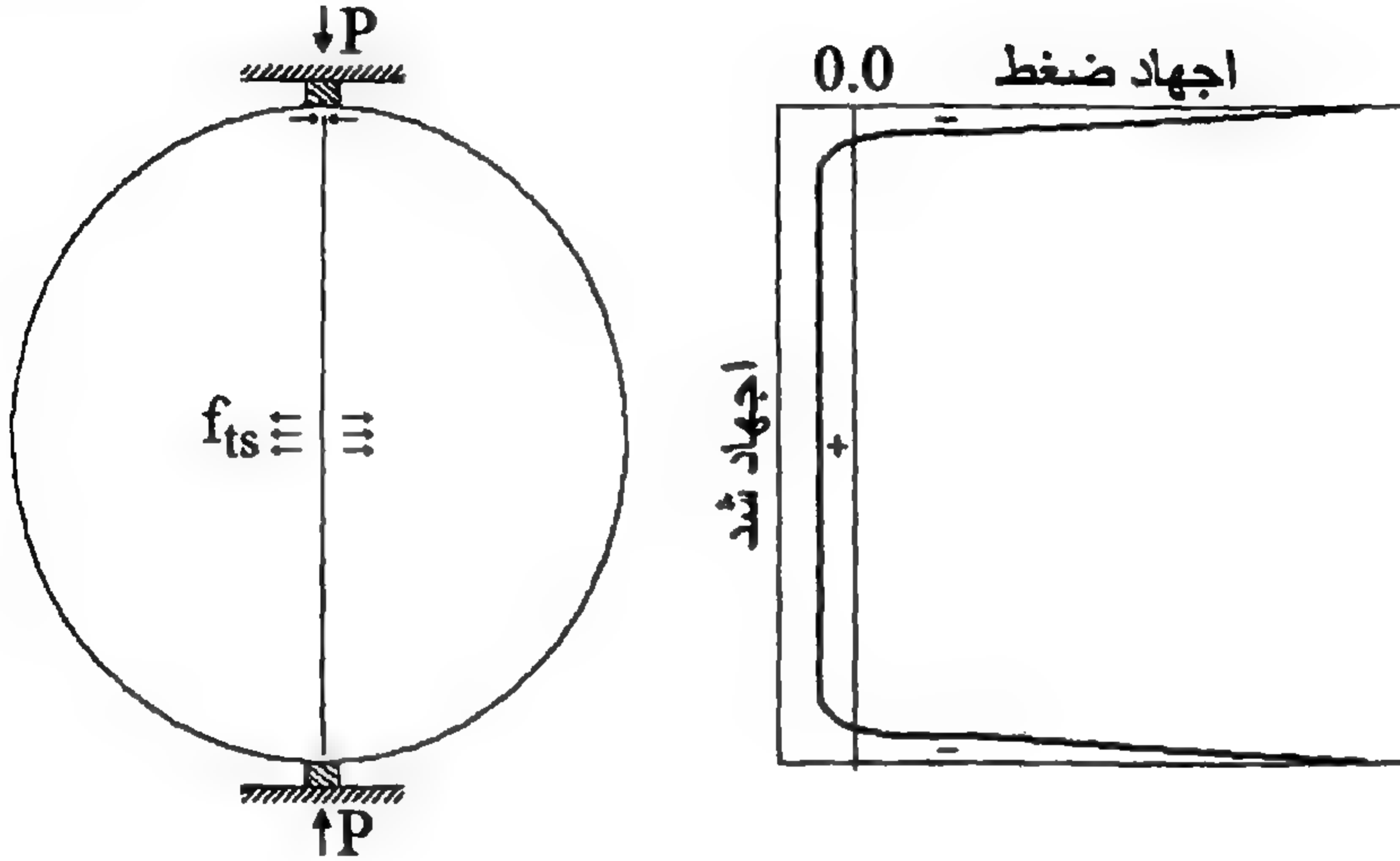
## 2-4-7 مقاومة شد الانفصال (Splitting Tensile Strength):

كما هو موضح بشكل (7-14) فإنه إذا عُرضت اسطوانة من الخرسانة لحمل ضغط على راسمها الخارجي، فإنه تتولد إجهادات ضغط عند الأطراف أسفل الحمل مباشرة، يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$\text{إجهاد الضغط} = \frac{2P}{\pi LD} \left[ \frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right]$$

حيث  $r$  بعد النقطة عن قمة الاسطوانة و  $L$  طولها و  $D$  قطرها.  
ويمكن حساب إجهادات الشد المتوسطة في منتصف الاسطوانة من المعادلة:

$$\text{إجهاد الشد المتوسط} = \frac{2P}{\pi LD}$$

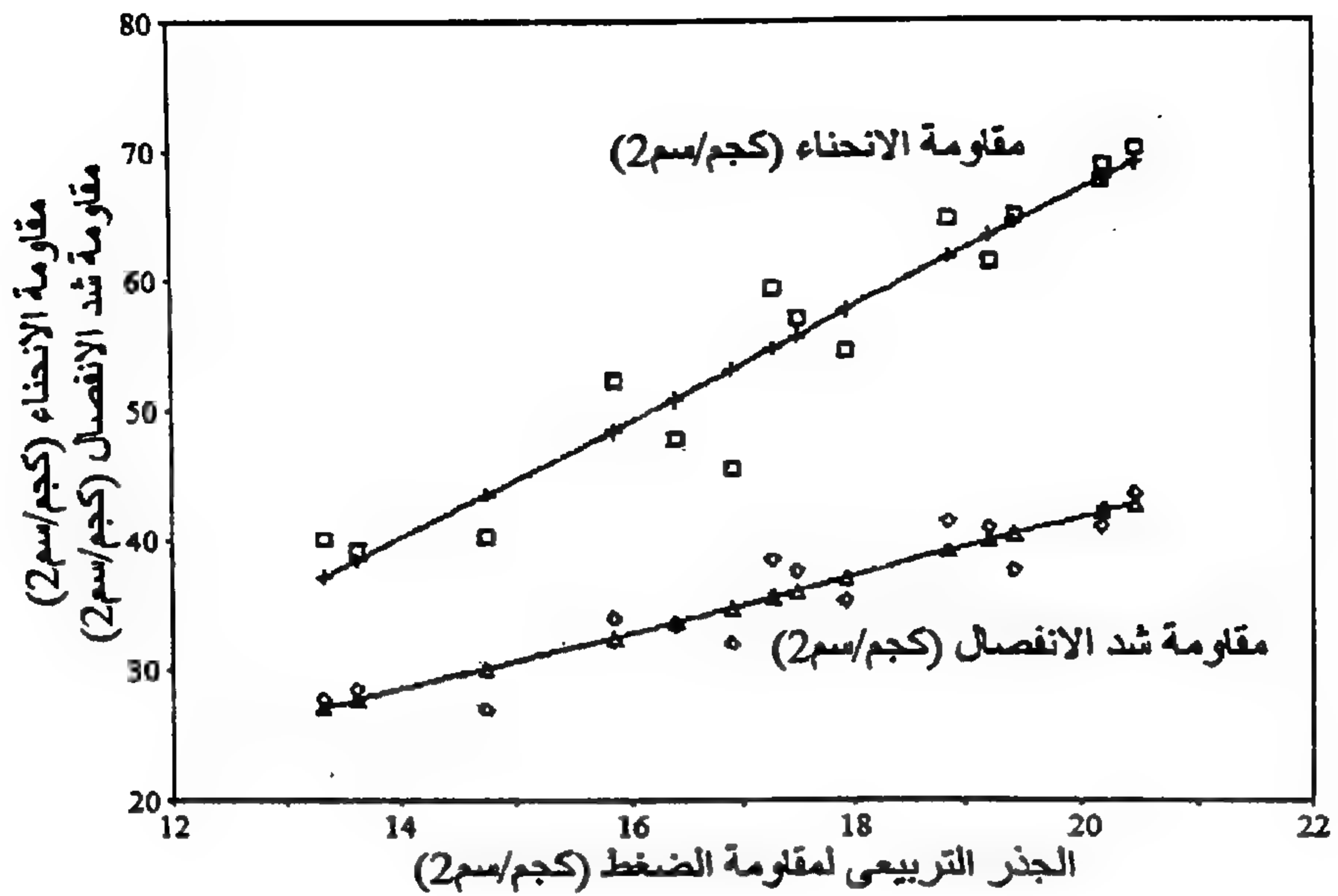


شكل (7-14) توزيع الإجهاد العرضي لاسطوانة محملة رأسياً في اختبار شد الانفصال

فإذا عُرضت اسطوانة خرسانية (قطر 15 وارتفاع 30 سم) لحمل ضغط ( $P$ ) متزايد حتى حدوث الكسر عند حمل ( $P_u$ )، فحسب مقاومة شد الانفصال ( $f_{ts}$ ) من المعادلة:

$$f_{ts} = \frac{2p_u}{\pi LD} = \frac{2p_u (KN)}{\pi \times 300 \times 150} N/mm^2$$

وعند اختبار الاسطوانة يجب وضع شريحة من الخشب الأبلكاچ (Plywood) بعرض 25 مم وسمك 3 مم في أعلى وأسفل الاسطوانة، حتى نتلاشى تهشيم الخرسانة نتيجة إجهادات الضغط العالية في أعلى وأسفل الاسطوانة. ويلاحظ أنه يمكن استخدام المكعبات في تحديد مقاومة شد الانفصال مع استخدام الشريحتين الخشبيتين في تركيز الحمل في منتصف المكعب. وأثبتت الأبحاث أن مقاومة شد الانفصال تزيد كلما زادت مقاومة للضغط ولكن بمعدل متناقص، شكل (7-15). ويلاحظ أن قيم مقاومة شد الانفصال تتراوح بين 65% إلى 80% من مقاومة الانحناء.



شكل (7-15) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء ومقاومة شد الانفصال لكسر أحجار من منطقة الضبعة

#### 5-7 مقاومة الترابط بين الخرسانة وصلب التسليح:

#### Bond between Concrete and Reinforcement Steel:

من المعلوم أنه في الخرسانة المسلحة يتم وضع أسياخ صلب في جهة الشهد لتحمل قوى الشد الموجودة الناشئة عن الانحناء أو عن أحمال الشد المباشرة. وفي حالة الأعضاء المعرضة للانحناء، فإن قوى الشد تنتقل من أسياخ التسليح إلى الخرسانة عن طريق إجهادات الترابط (Bond Stress). وهذه الإجهادات يجب أن تكون مسموح بها. وإذا زاد حمل الانحناء بحيث تصل هذه الإجهادات لأقصى قيمة، يحدث انهيار ناتج عن حدوث زحزحة في السليخ (Slip of Steel). وتنتشر الشروخ في تلك الحالة حول الأسياخ. وشكل (7-16) يوضح ميكانيكا الترابط. ومعملياً يمكن وضع سليخ لابل قطره عن 16 مم في منتصف قالب اسطوانى ويتم الصب بحيث نحافظ على مركزية السليخ وعند عمر 28 يوم يتم شد السليخ لنزعه عن طريق ماكينة اختبار ويتم قياس الزحزحه في السليخ. ويمكن حساب مقاومة الترابط باستخدام المعادلة التالية :

$$q_b = \frac{T}{\pi \Phi l_d}$$

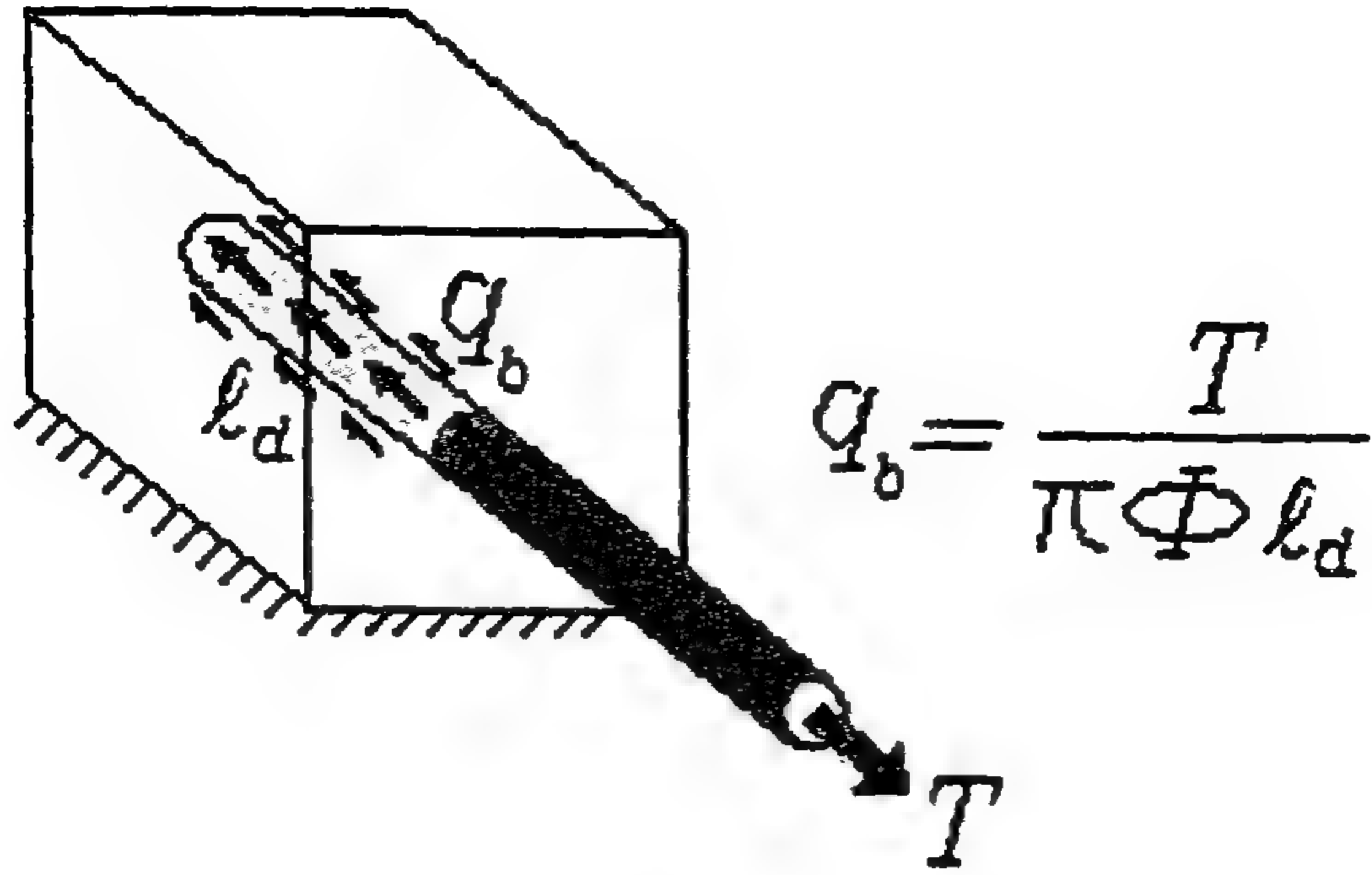
حيث  $T$  حمل النزح .

$\Phi$  قطر السليخ

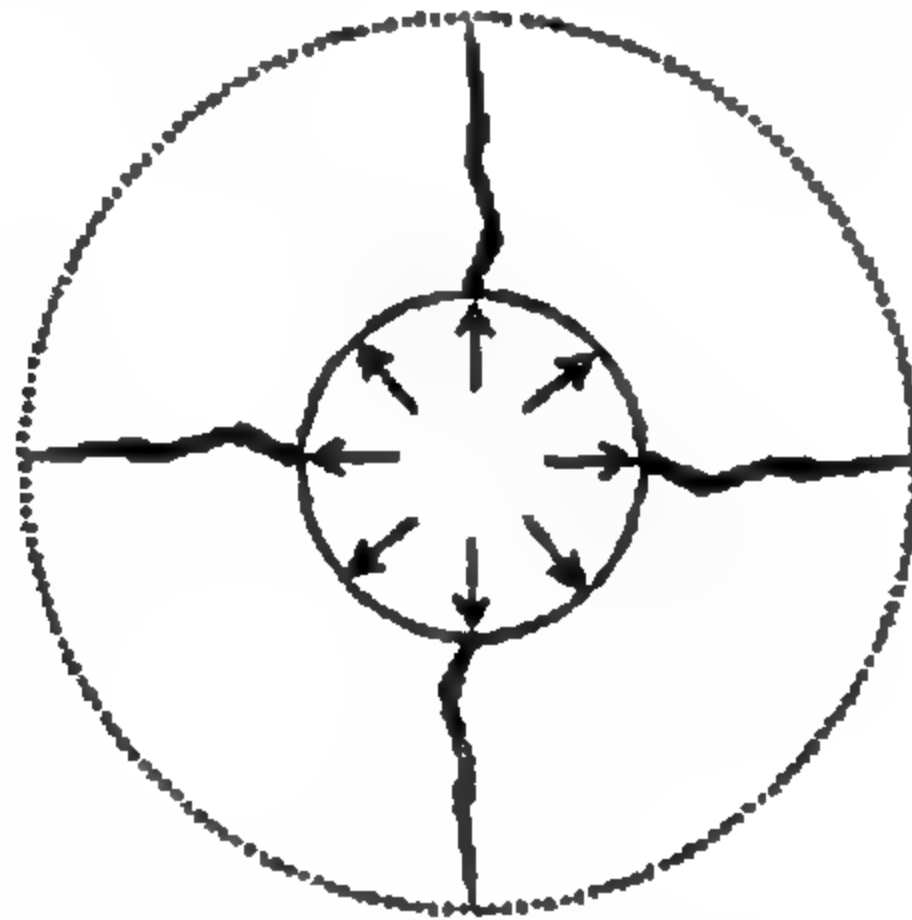
$l_d$  الطول المدفون

وشكل (7-17) يوضح شكل شروخ الانهيار نتيجة فقد مقاومة الترابط. وأغلب هذه الشروخ تسمى شروخ انفصال.

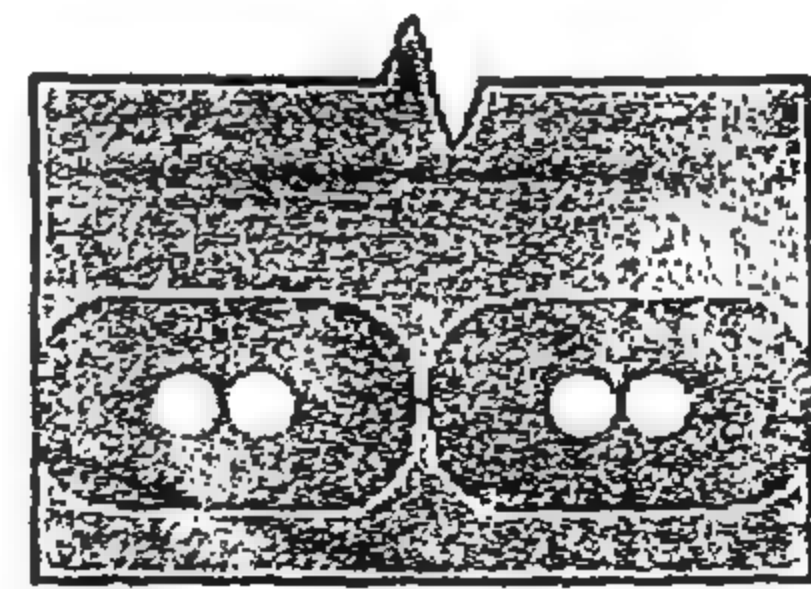
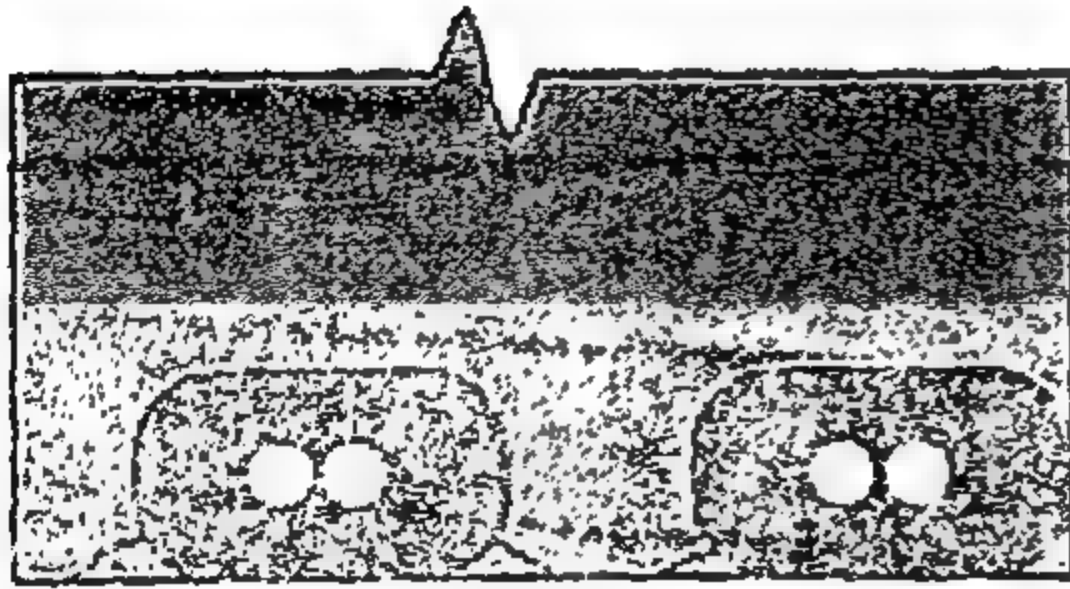




شكل (7-16) ميكانيكا إجهادات الترابط بين سيخ التسليح والخرسانة



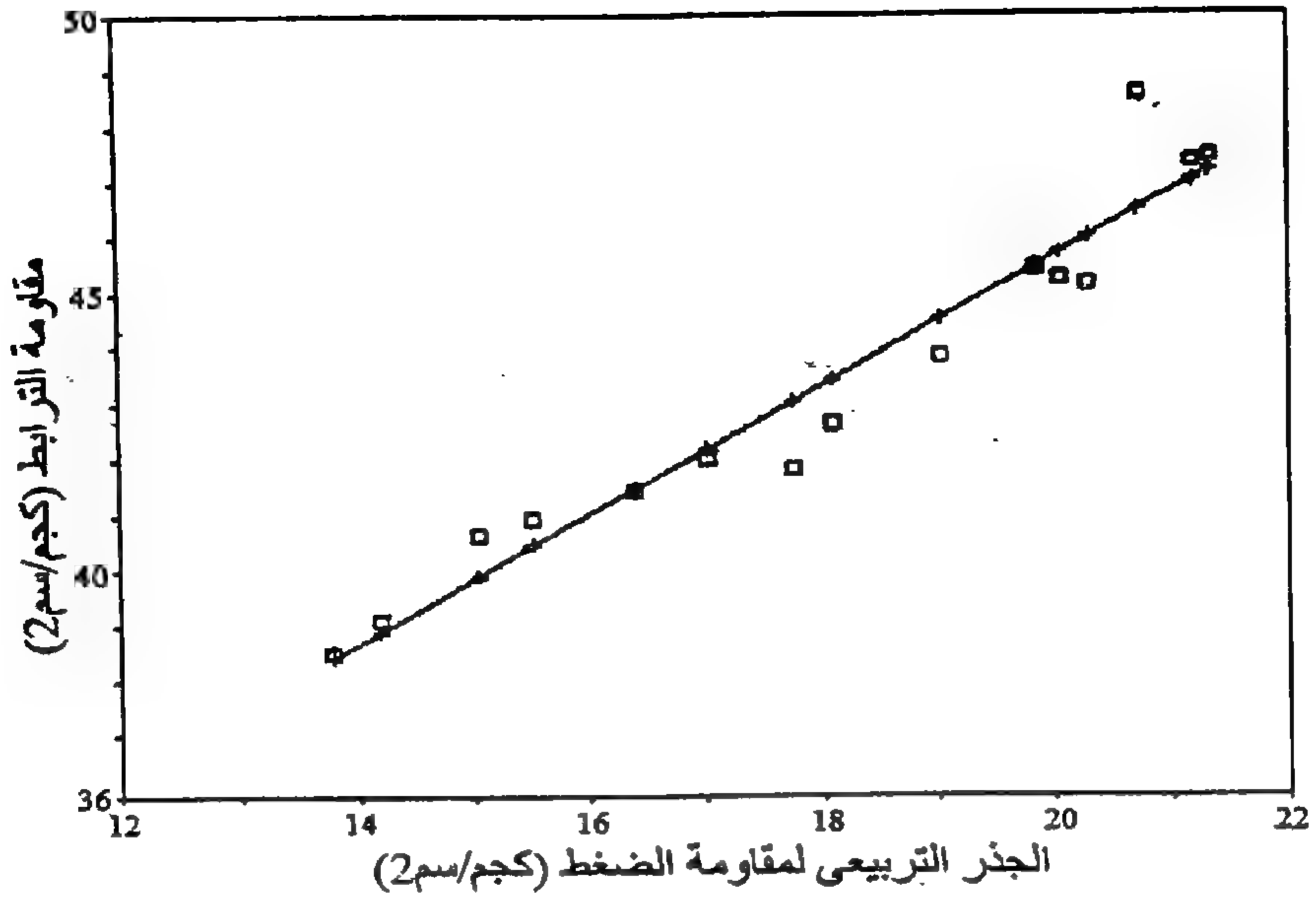
شروخ الانفصال حول الميخ  
لناتجة من فقد الترابط في الأسياخ عند الوصلات



شروخ الانفصال الناتجة من فقد الترابط في الأسياخ عند الوصلات

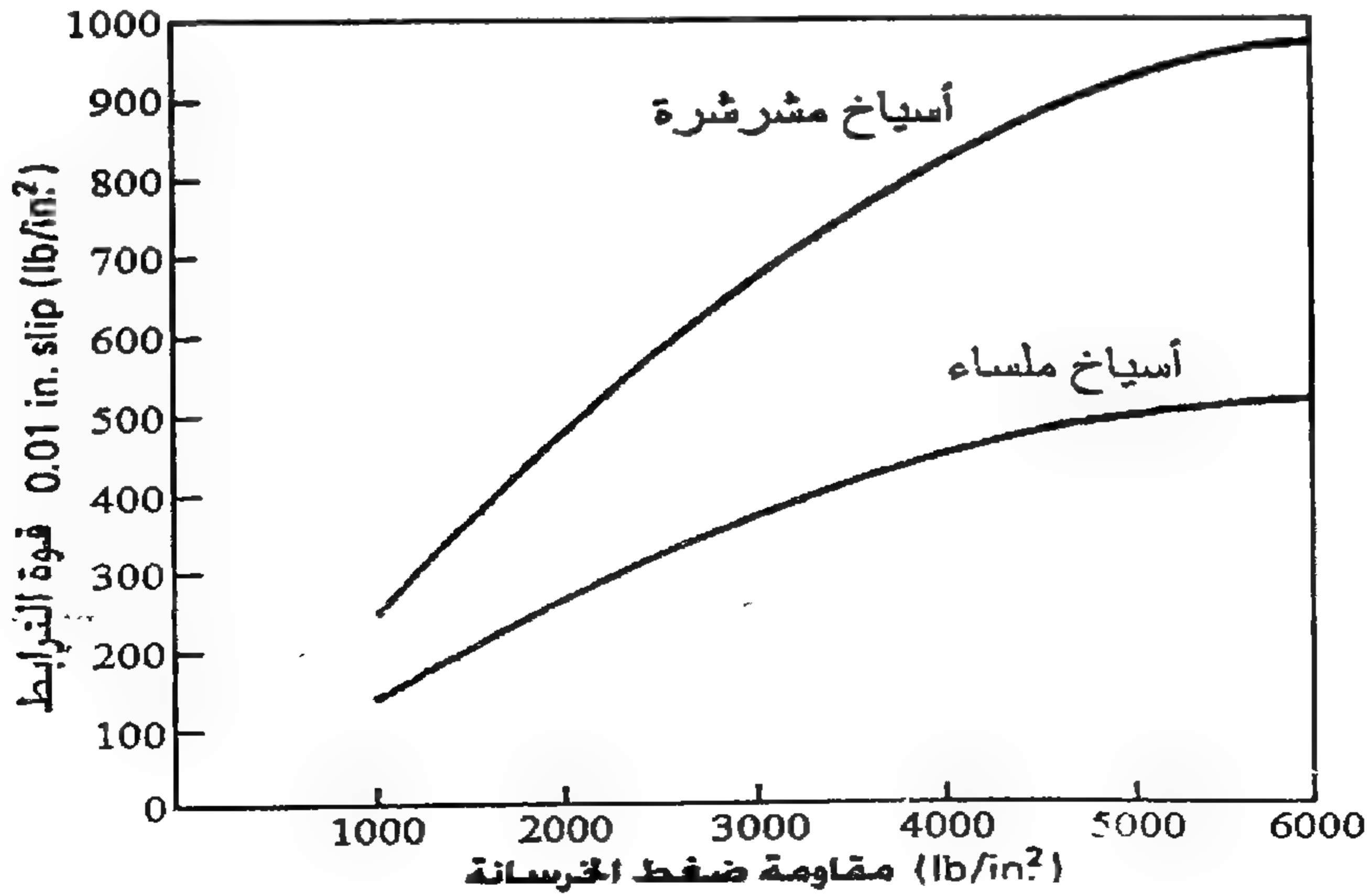
شكل (7-17) الشروخ الناشئة عن الانهيار الناتج من إجهادات الترابط

وتعرف مقاومة الترابط بأنها أقصى إجهاد قص يتولد بين السيخ والخرسانة ويحدث عنده انهيار. وتتوقف مقاومة الترابط على مقاومة الضغط للخرسانة، حيث أنه كلما زادت مقاومة الضغط تحسن مقاومة الترابط، انظر شكل (7-18).

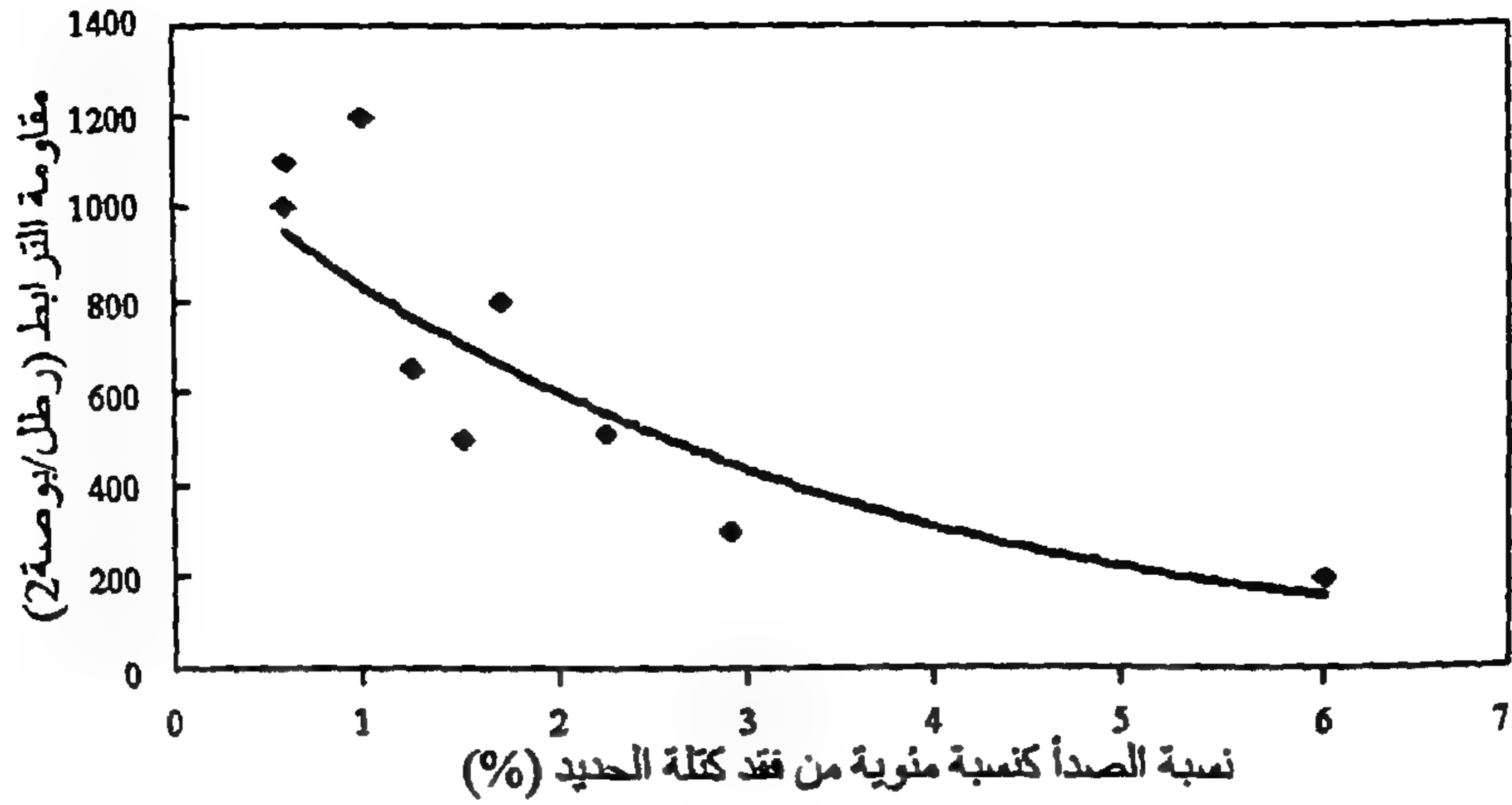


شكل (7-18) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الترابط بين صلب التسليح والخرسانة

وتتوقف تلك المقاومة على شكل سطح الأسياخ الخارجى، هل السطح أملس أم ذو نتوءات، حيث تتحسن مقاومة الترابط كثيراً بوجود النتوءات على سطح السطح، انظر شكل (7-19)، و يجب أن تكون النتوءات قياسية من جهة عددها فى المتر الطولى وزاويتها ... الخ. ومن العوامل المهمة فى تخفيض مقاومة الترابط هو تعرض صلب التسليح للصدأ، حيث أنه بزيادة كمية الصدأ تحدث شروخ وتفتت فى الخرسانة حول الأسياخ مما يقلل من مقاومة الترابط، انظر شكل (7-20). وجدول (7-3) يوضح مقاومة الترابط المستخدمة بالكود البريطانى.



شكل (7-19) العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الترابط لأسياخ ملساء وأسياخ ذات نتوءات



شكل (20-7) تأثير نسبة الصدأ على مقاومة الترابط

جدول (3-7) قيم مقاومة الترابط للأسياخ كدالة من مقاومة الضغط (ن/مم²)

مقاومة الضغط ن/مم²	20	25	30	40
تسليح أملس	1.7	2.0	2.2	2.7
تسليح ذو نتوءات	2.1	2.5	2.8	3.4

ويجب على المهندسين حساب طول الترابط ( $L_d$ ) لأسياخ التسليح بحيث نتجنب حدوث انهيار في الأعضاء الخرسانية، نتيجة فقد الترابط قبل الوصول لأقصى عزم يتحمله القطاع في الانحناء.

يوصى الكود المصرى بحساب مقاومة الترابط ( $f_{bu}$ ) من المعادلة:

$$f_{bu} = 0.3 \sqrt{\frac{f_{cu}}{\alpha_c}} \text{ N/mm}^2$$

معامل خفض المقاومة  $\alpha_c = 1.5$

ويحسب طول الترابط للأسياخ من المعادلة:

$$L_d = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot \sigma \left( \frac{f_y}{\alpha_s} \right)}{4 f_{bu}} \cdot \Phi$$

حيث

←  $\Phi$  = قطر السليخ

←  $\alpha$  معامل تصحيح يعتمد على شكل طرف السليخ (يتراوح من 0.50 إلى 1.00).

←  $\beta$  معامل يتوقف على نوع السليخ.

←  $\sigma$  معامل يتوقف على موقع السليخ (في حالة الأسياخ ذات النتوءات = 0.45 ، 0.75 في الضغط والتشد على الترتيب للأسياخ الأفقية المعرضة للتشد والتي يزيد سمك الخرسانة المصبوبة أسفلها عن 300 مم).

←  $\sigma = 1.00$  للحالات الأخرى بوضع الأسياخ، وقيم  $\alpha$ ،  $\beta$  موجودة في الكود المصري.

ومن المهم جداً أن يقوم المهندس بتنظيف أسياخ التسليح من الأتربة والزيوت قبل الصب مباشرة. ومن المهم التأكيد على أنه لا يوجد اختبار قياسي لتحديد مقاومة الترابط. وتوجد اختبارات لتحديد المقاومة التقريبية مثل اختبار Pull-Out-test الذى سيذكر في اختبارات الخرسانة المتصلدة.

## 6-7 ميكانيكا التصدع (Fracture Mechanics):

### 6-7-1 منحنى مور للانهييار (Mohr's Failure Criterion):

استخدم والتر منحنى على هيئة قطع مكافئ ليمثل منحنى مور لانهييار الخرسانة. وقد افترض أن نسبة مقاومة الشد/مقاومة الضغط  $\frac{f_{tr}}{f_{cu}} = \frac{1}{8}$ . وشكل (7-21) يوضح الإجهادات العمودية وإجهادات القص لنقطة في المستوى X, Y في عضو خرساني. وشكل (7-22) يمثل دائرة مور للإجهادات في الاتجاهات المختلفة لهذه النقطة. أما شكل (7-23) فيوضح دائرة مور لانهييار لخرسانة مقاومتها في الشد والضغط  $f_{tr}$ ,  $f_{cu}$ .

وقام والتر بوضع المعادلة التالية لهذا المنحنى:

$$q^2 = \frac{1}{2} f_{cu} - \frac{1}{16} f_{tr}^2 = 0.0 \quad \dots\dots\dots(7-1)$$

حيث q، f عبارة عن إجهاد القص والإجهاد العمودي لنقطة على منحنى مور. ويمكن التعبير عن معادلة الإجهاد العامة كما يلي:

$$f^2 + q^2 - (f_x + f_y)f + f_x f_y - q_{xy}^2 = 0.0 \quad \dots\dots\dots(7-2)$$

حيث  $f_x$ ،  $f_y$ ،  $q_{xy}$  مركبات الإجهاد للعضو dxdy في الجسم الواقع في الإحداثيات XY. أشار مور أنه لكي يحدث انهيار فإن دائرة الإجهادات العامة يجب أن تماس منحنى مور لانهييار.

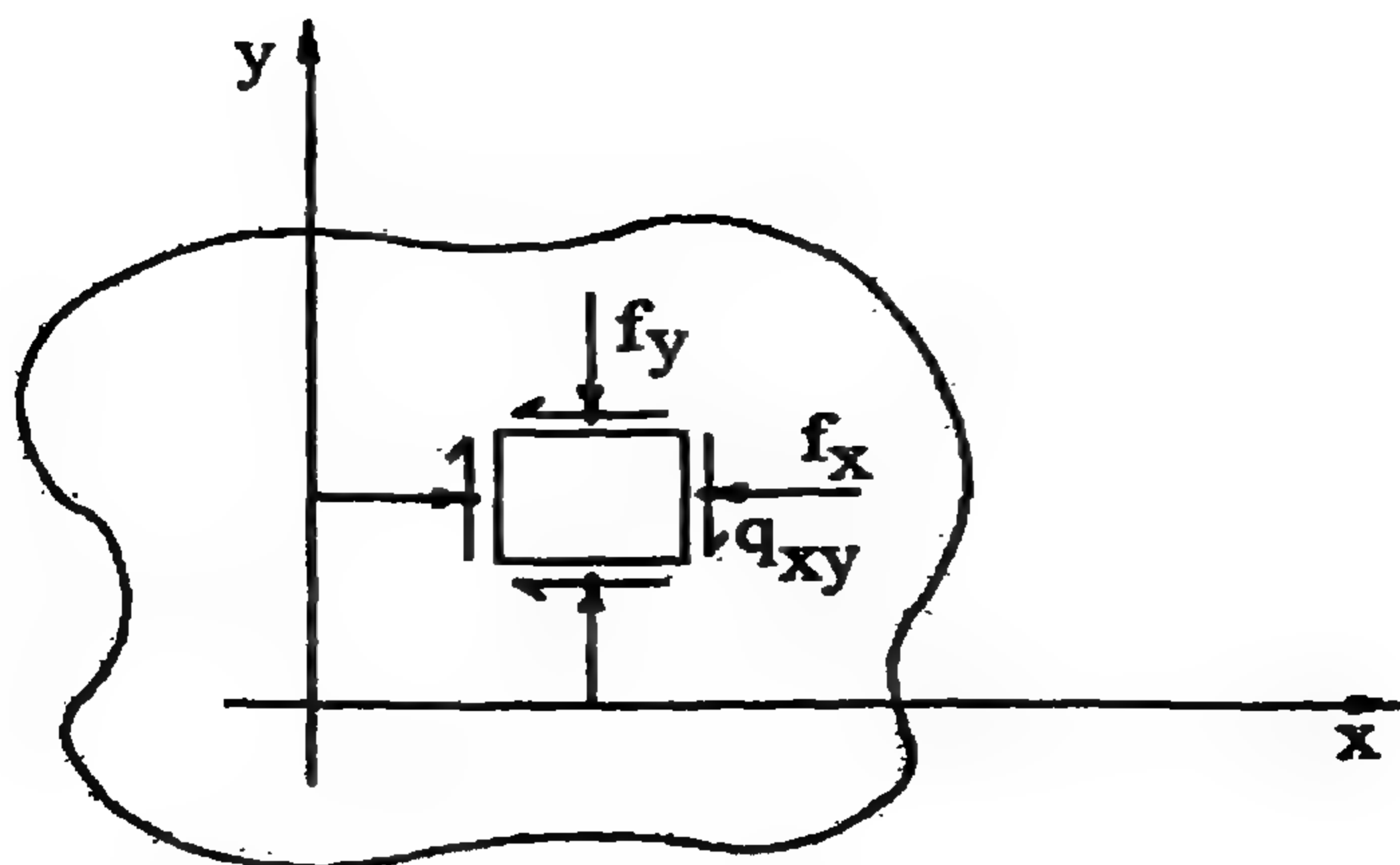
حل والتر المعادلتين (7-1) و(7-2) معاً. وفي حالة  $f_y = 0.0$  توصل لمنحنى الانهييار الممثل بالمعادلتين (7-3) و(7-4).

$$(7-3) \dots\dots \left( \frac{f_x}{f_{cu}} > 0.25 \text{ حالة في حالة} \right)$$

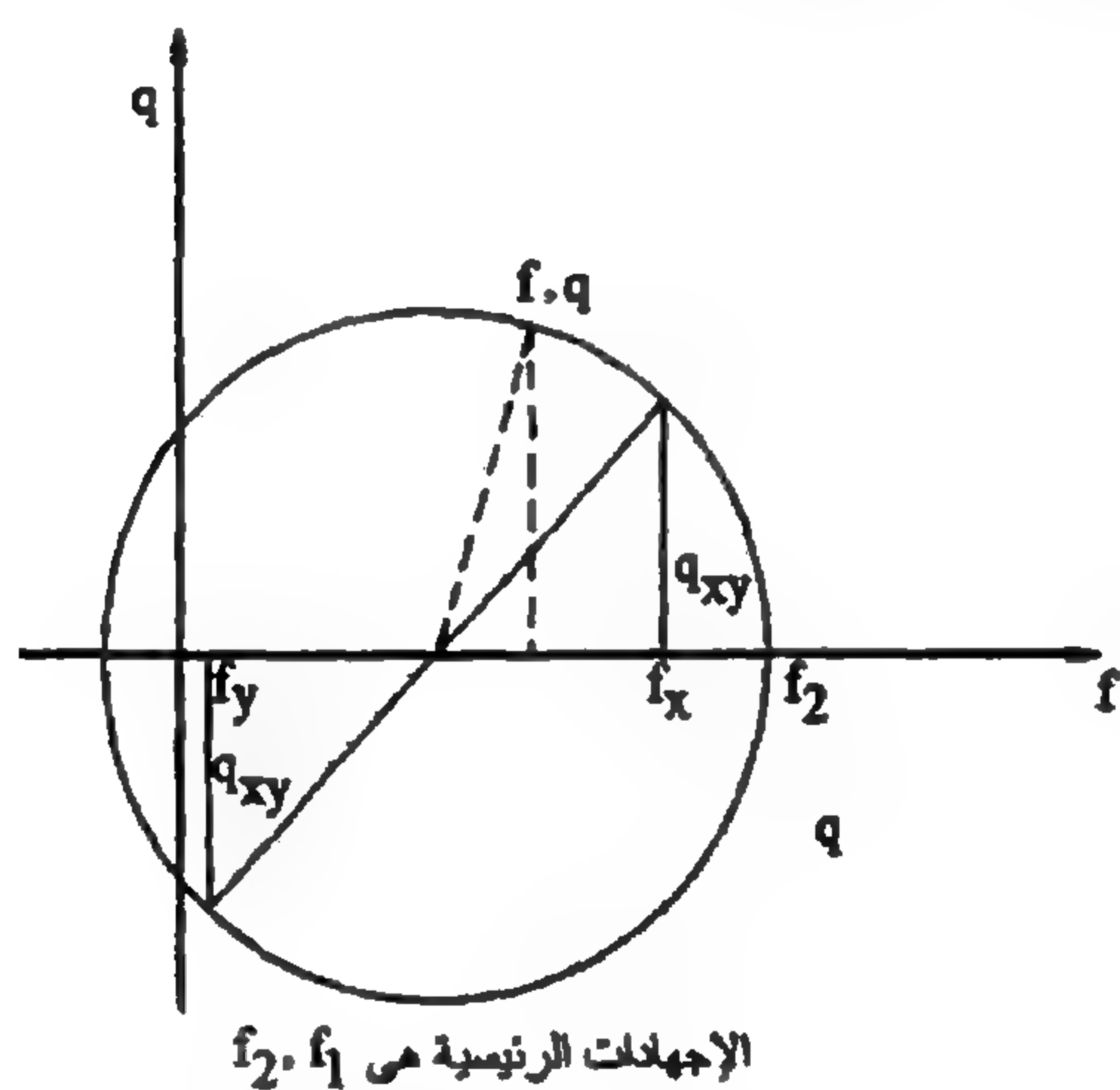
$$\left( \frac{f_x}{f_{cu}} \right)^2 - \left( \frac{f_x}{f_{cu}} \right) + \left( \frac{2q_{xy}}{f_{cu}} \right)^2 = 0.0$$

$$(7-4) \dots\dots \left( \frac{f_x}{f_{cu}} < 0.25 \text{ حالة في حالة} \right) \left( \frac{8q_{xy}}{f_{cu}} \right)^2 - \left( \frac{8f_x}{f_{cu}} \right) - 1 = 0.0$$

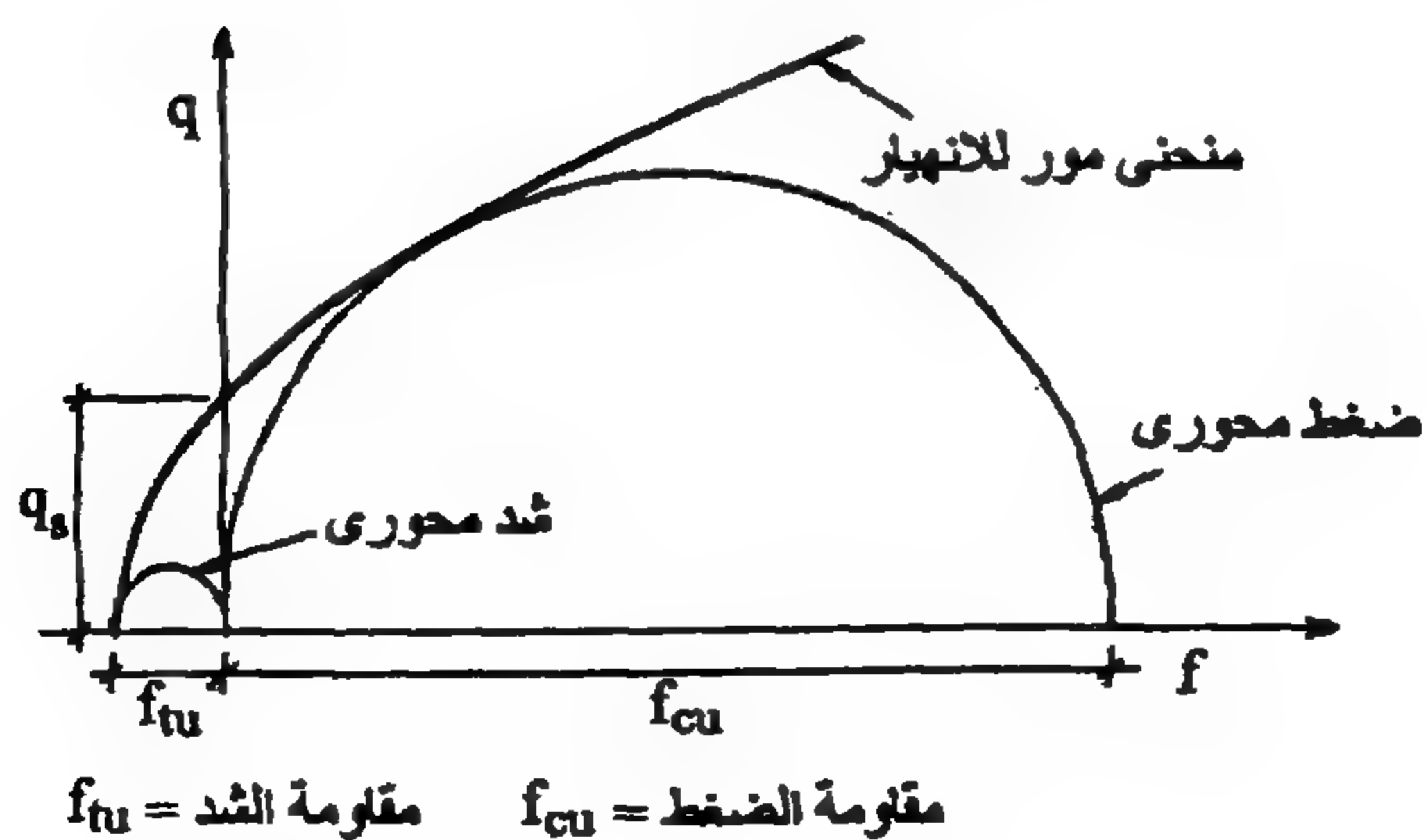
ومنحنى الانهييار ذلك موضح في شكل (7-24)، وفيه الإجهادات منسوبة لمقاومة الضغط، ويمكن بمعرفة الإجهاد العمودي الواقع على الخرسانة توقع إجهاد القص الذى سيؤدى إلى الانهييار ومن هنا يمكن للمهندس التعرف على مقاومة الخرسانة للقص.



شكل (7-21) الإجهادات المؤثرة على عنصر خرساني

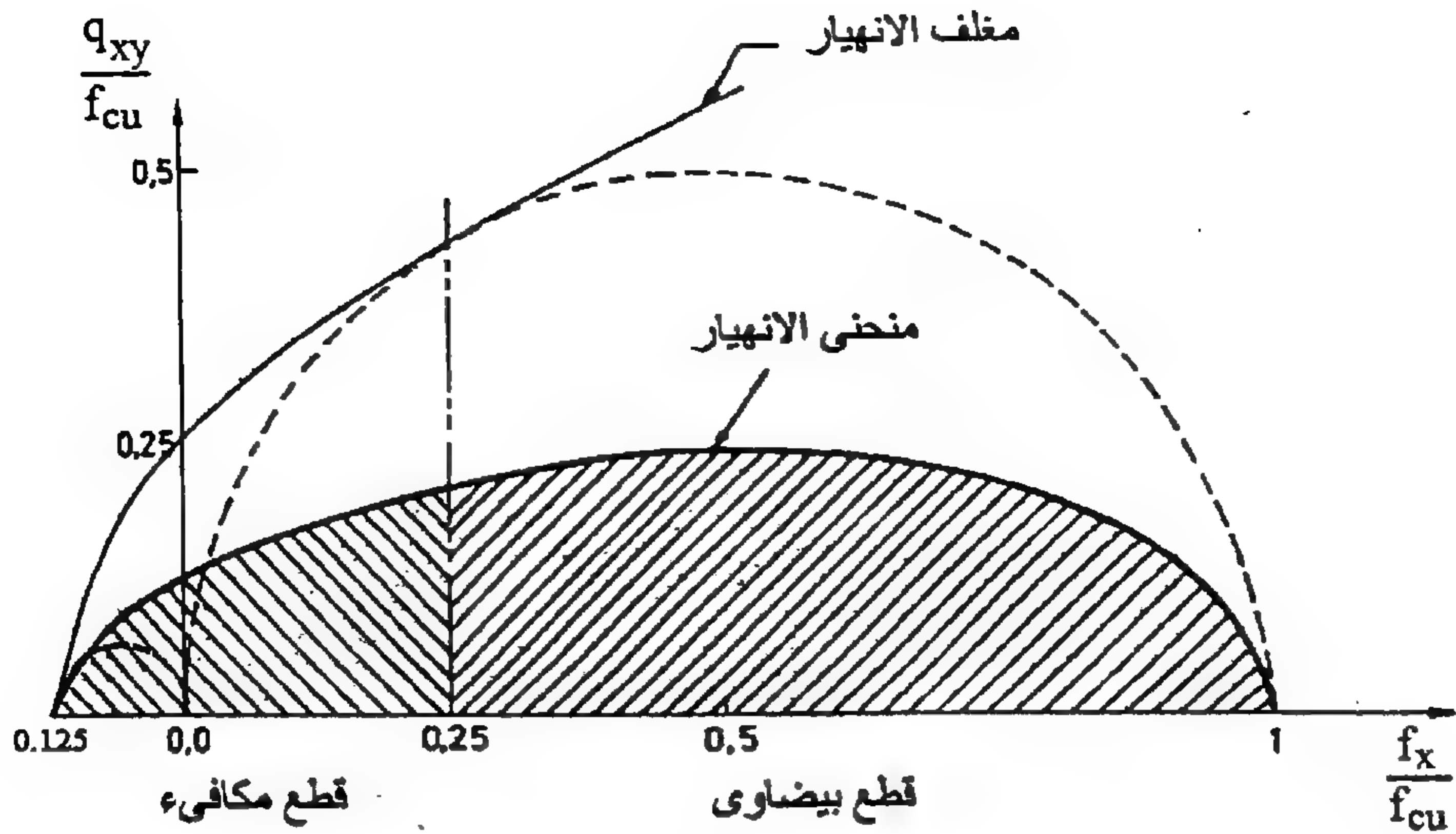


شكل (7-22) دائرة مور للإجهادات



شكل (7-23) منحني مور المغلف للانهيبار



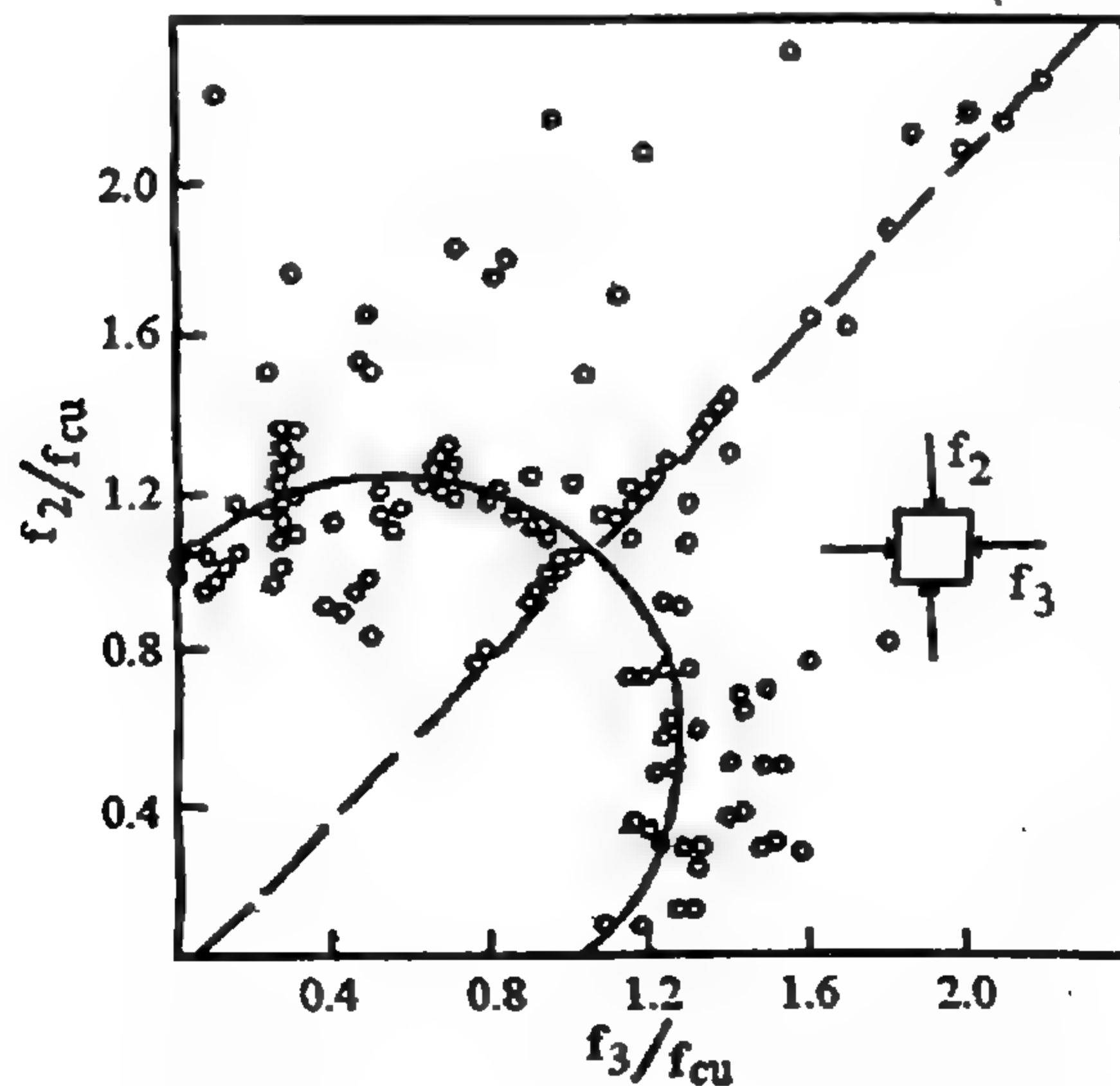


شكل (24-7) منحنى والتر للانهييار

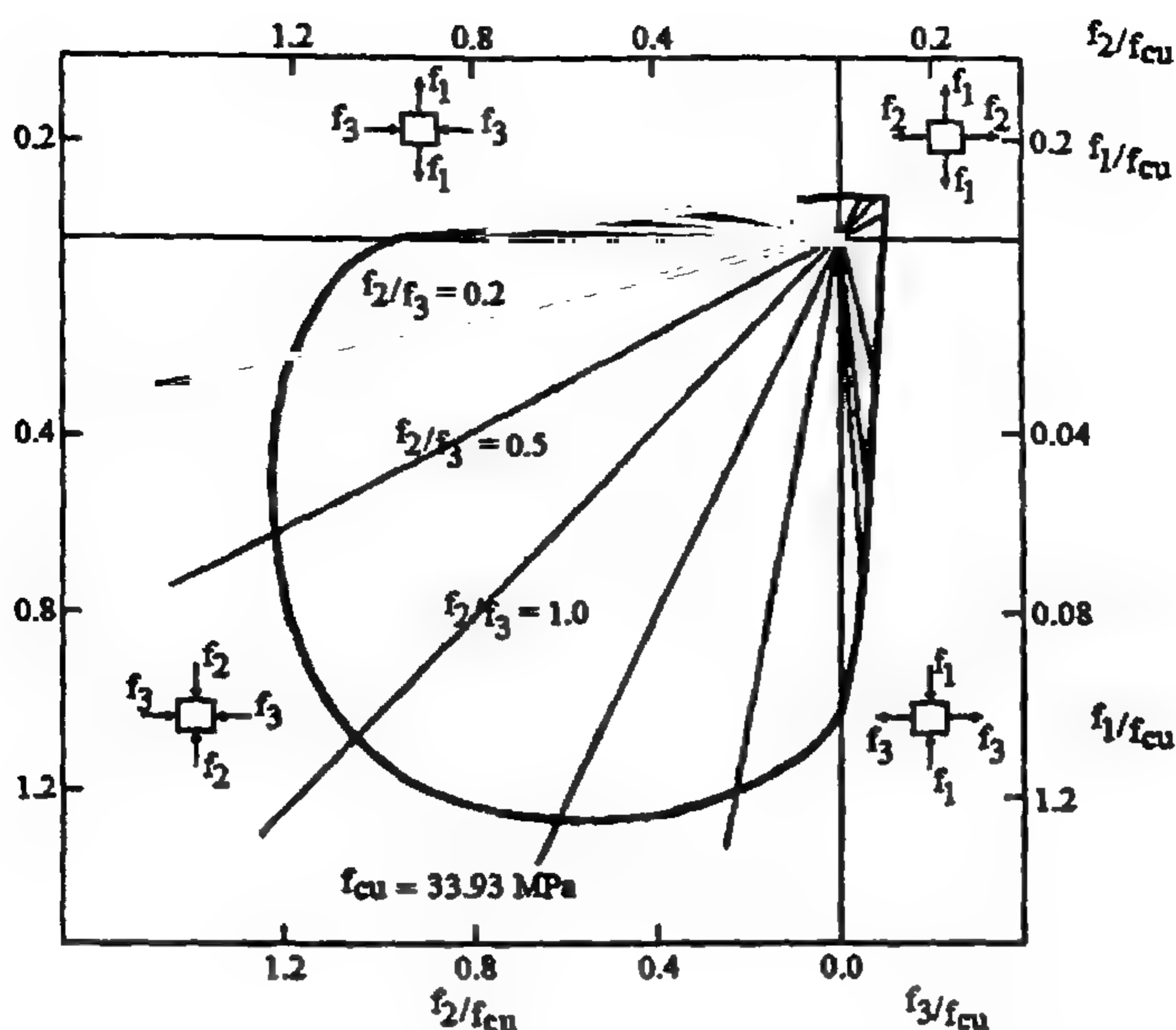
## 2-6-7 تأثير حالة الضغط الثنائي المحوري على مقاومة الضغط:

### (Biaxial Compression Strength):

لكي يمكننا متابعة تأثير الضغط الثنائي على مقاومة الضغط، فإننا يجب أن نتذكر أن الإجهادات الرئيسية هي  $f_1, f_2, f_3$ ، بحيث تكون  $f_3 < f_2 < f_1$ . والانفعالات الرئيسية المناظرة هي  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  وقد توصل إيراهاام وآخرون إلى أن مقاومة الضغط تتحسن في وجود الضغط الجانبي. وتصل الزيادة في مقاومة الضغط لحوالي 22 % ولذلك لنسبة  $f_1/f_2 = 0.50$ ، انظر شكل (25-7) وشكل (26-7).



شكل (25-7) تأثير الضغط الجانبي على مقاومة الضغط



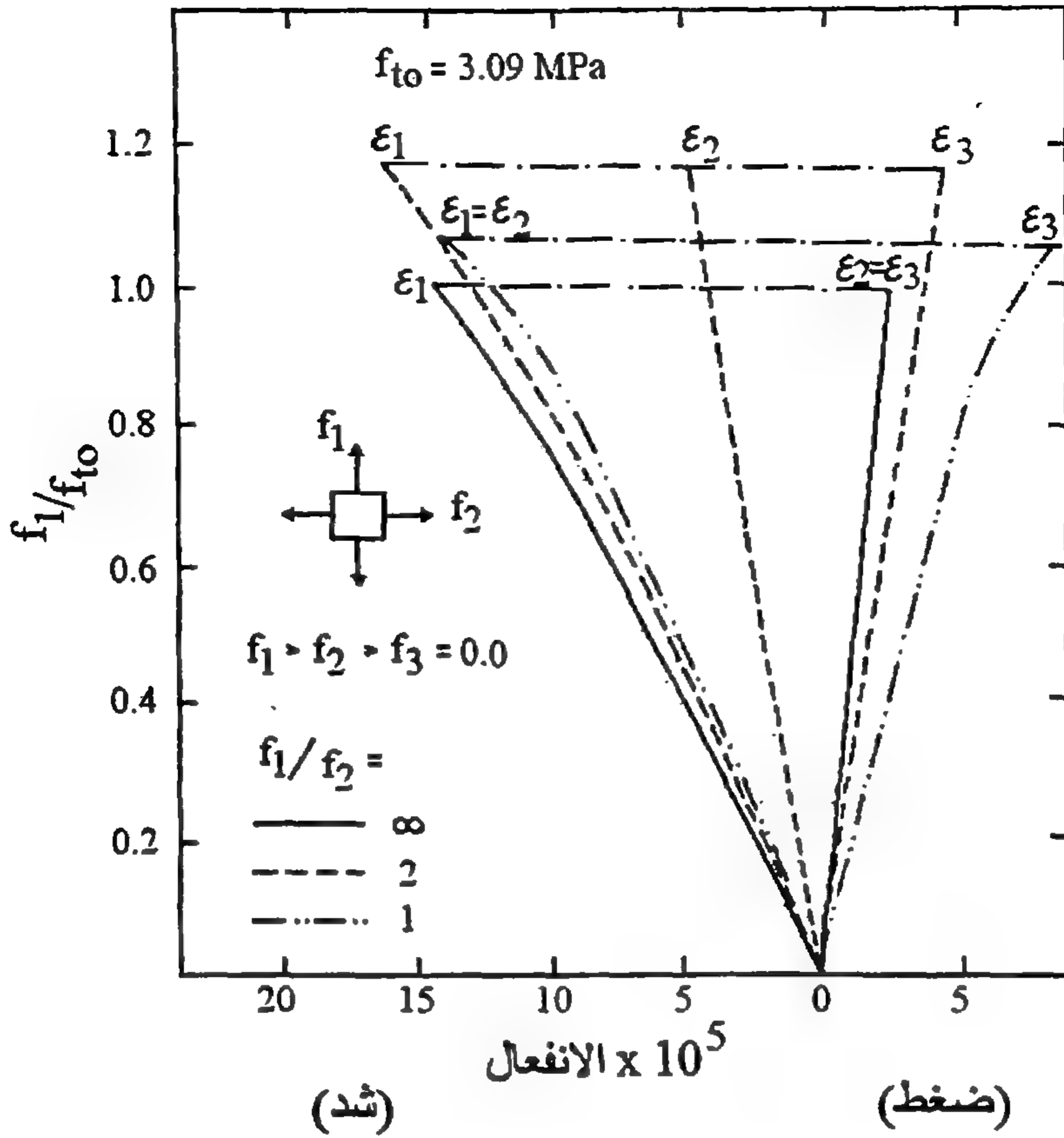
شكل (7-26) تأثير حالات التحميل الثنائي على مقاومة الخرسانة

### 3-6-7 تأثير وجود شد جانبي على مقاومة الضغط:

#### (Biaxial Compression Tension Strength):

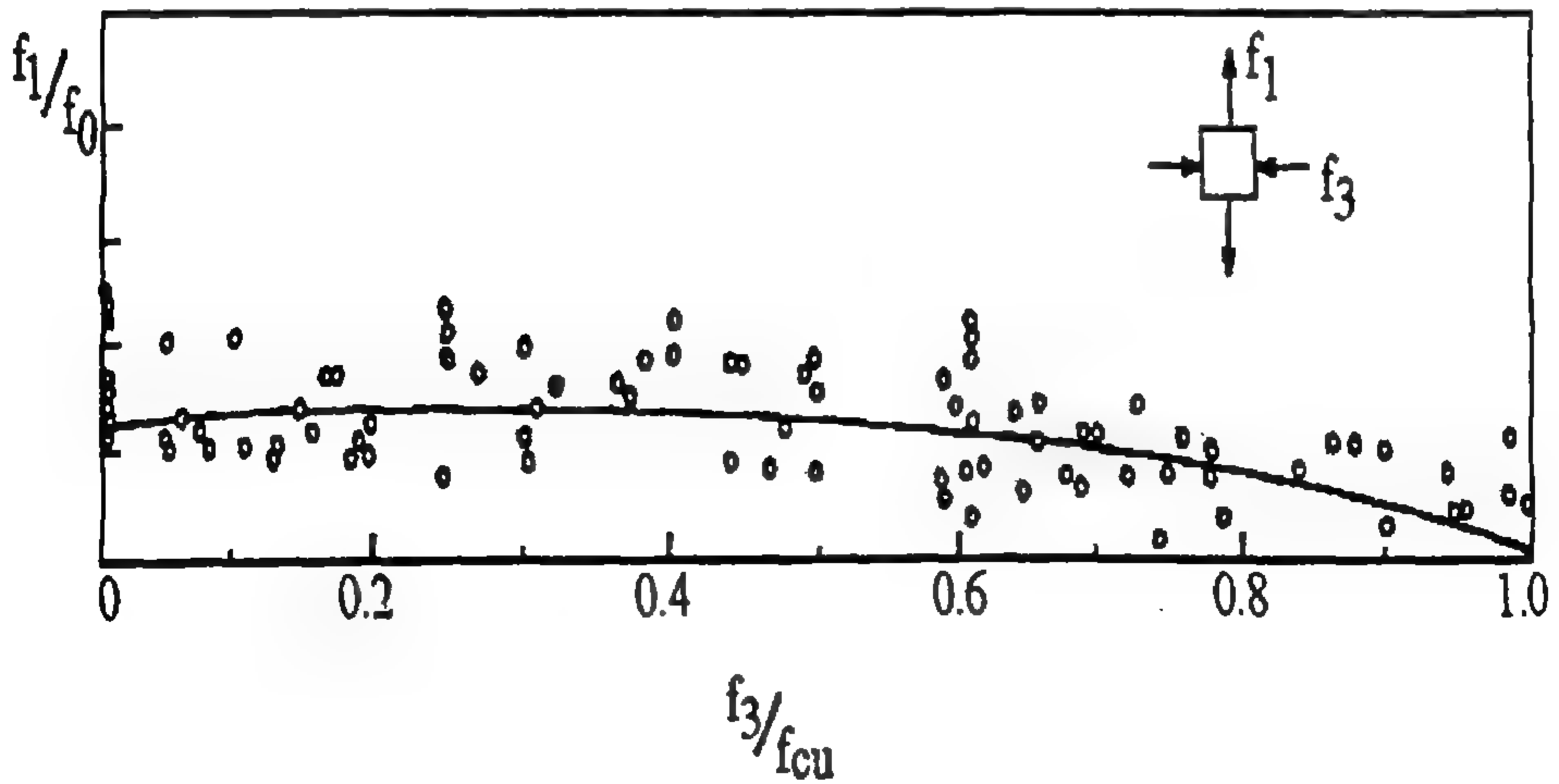
قد تتعرض الخرسانة بجانب إجهادات الضغط الراسي إلى إجهادات شد في الاتجاه الآخر. وفي تلك الحالة أثبتت الأبحاث أن كل من مقاومة الضغط وانفعال الضغط يقلان مع وجود إجهاد شد عرضي، ويزيد النقص في مقاومة الضغط والانفعال مع زيادة إجهاد الشد. والنتيجة السابقة يمكن متابعتها بوضوح من شكل (7-27) و (7-28)، حيث يقل إجهاد الضغط الرئيسي  $f_3$  إذا ما قورن بمقاومة الضغط في حالة عدم وجود إجهاد شد عرضي ( $f_o$ ). ومن الملاحظ نقص انفعال الضغط عند الانهيار من  $10 \times 300$  سم<sup>3</sup>/سم إلى حوالي  $10 \times 80$  سم<sup>3</sup>/سم.

وفيما يخص شكل الانهيار فسيتم تناوله في الباب العاشر.



مقاومة الشد المحوري  $f_{t0}$

شكل (7-27) تأثير إجهاد الشد العرضي على مقاومة الضغط والانفعال



شكل (7-28) تأثير إجهاد الشد العرضي



## الباب الثامن

### إضافات الخرسانة (Admixtures for Concrete)

#### 8-1 علم

هي مواد تضاف بكميات صغيرة ، أو كبيرة للخرسانة عند خلطها ، أو تضاف للأسمنت في المصانع كجزء إحلالي من الأسمنت ، وذلك لإكساب الخرسانة خاصية معينة . وهذه المواد قد تعجل أو تؤجل شك الخرسانة ، وقد تحسن من تشغيلها أو تقلل نفاذيتها أو تكسبها مقاومة جيدة للصدا ..... إلخ .

وسنتناول فيما يلي تقسيم الإضافات والتي تشمل : الإضافات المسببة للهواء المحبوس والإضافات الكيميائية والإضافات المعدنية وخواصها وتأثيرها على الخرسانة .

#### 8-2 الإضافات المسببة للهواء المحبوس . ( Air-Entraining Agent (ASTM C260

وهذه الإضافات تضاف للخرسانة لإيجاد فقاعات هواء محبوس في الخرسانة ، تكون دقيقة جداً ، وتكون نظام يسمح بتقليل الإجهادات الناشئة عن دورات تكون الثلج ونوبانه ، وتتراوح نسبة الهواء المحبوس للخرسانة في المتوسط بين 4.5 ، 6.5 % ، وتصل لـ 9 % للمونة . وتصنع تلك المواد كمنتجات ثانوية by-products من بعض الصناعات الأخرى مثل صناعة الورق والبتروول وشحوم الحيوانات . ويؤثر معامل تقسيط الفقاعات الهوائية ، والذي يتراوح بين 0.18 إلى 0.30 مم على تحميلية الخرسانة واستخدام تلك المواد يحسن من تحميلية الخرسانة للصقيع ويقلل الفقد في مقاومة الخرسانة نتيجة التعرض لدورات الصقيع .

#### 8-3 الإضافات الكيميائية : Chemical Admixture

##### 8-3-1 علم :

وهي إضافات أساسها كيميائي تضاف للخرسانة عند الخلط كنسبة صغيرة من وزن الأسمنت ( 0.20 - 3.5 % ) ، وهذه النسبة تتوقف أساساً على نوع المادة وأساسها الكيميائي ، وهذه الإضافات تكسب الخرسانة سمات معينة ، وهي تنتج غالباً على هيئة سائل وأحياناً على هيئة مسحوق ، وتوجد عدة تقسيمات للإضافات للهيئات الدولية المختلفة العاملة في هذا المجال ، وسنذكر في مايلي بعض التعريفات .

##### 8-3-1-1 الجرعة : Does

وهي كمية الإضافات وفي أغلب الأحوال تضاف كنسبة وزنية من وزن الأسمنت ، أو كإضافته بالتر للتر المكعب من الخرسانة .

##### 8-3-1-2 الأساس الكيميائي : Chemical Base

وهي المادة الكيميائية التي يشتق منها الإضافات .

##### 8-3-2 تقسيم الإضافات الكيميائية طبقاً لـ ASTM

Classification of Chemical Admixtures According ASTM C494



أ - الإضافات المقللة لماء الخلط (A).

Type (A) Water reducing admixtures

وبناء على الكود الألماني والياباني يطلق عليها Plasticizer أى المواد الملدنة .

Type (B) Retarding Admixtures

ب - الإضافات للمؤجله للشك (B).

Type (C) Accelerating Admixtures

ج - الإضافات المعجله (C).

د - الإضافات المقللة للماء والمؤجله للشك (D) .

Type (D) Water reducing and Retarding Admixtures

هـ - الإضافات المقللة للماء والمعجله للشك (E)

Type (E) Water reducing and Accelerating Admixtures

و - الإضافات عالية التخفيض للماء (F) ويطلق عليها فى الكود الألماني والياباني بمواد عالية التلدين Super Plasticizer

-Type (F) High range water reducing admixture .

ز - المواد عالية التخفيض للماء المؤجله للشك (G) .

- Type (G) High range water reducing and retarding admixtures .

### 8-3-2-1 الإضافات المقللة للماء : Water reducing admixtures

وهى مواد عند إضافتها للخرسانة تحسن من تشغيليتها وتزيد من لدونتها .

1- الأساس الكيميائى :

تشترك تلك المواد من مواد متعددة ومنها :

— أحماض اللجنو سلفو ألومينات وأملاحها Ligno Sulfonic acids and their salts

— أحماض الهيدروكسيلايد كربوكسليك وأملاحها .

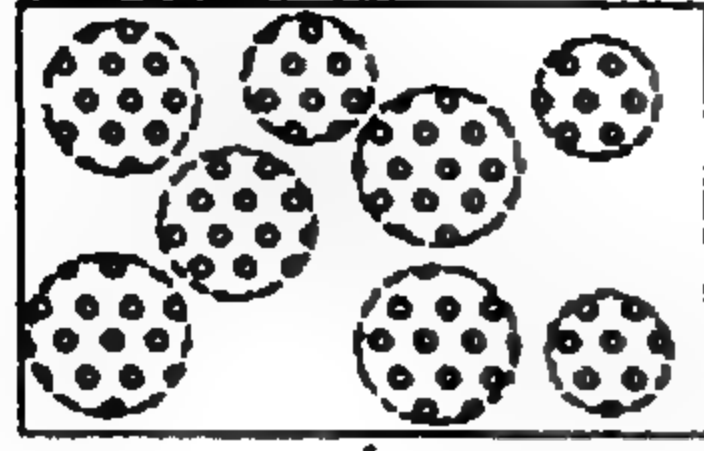
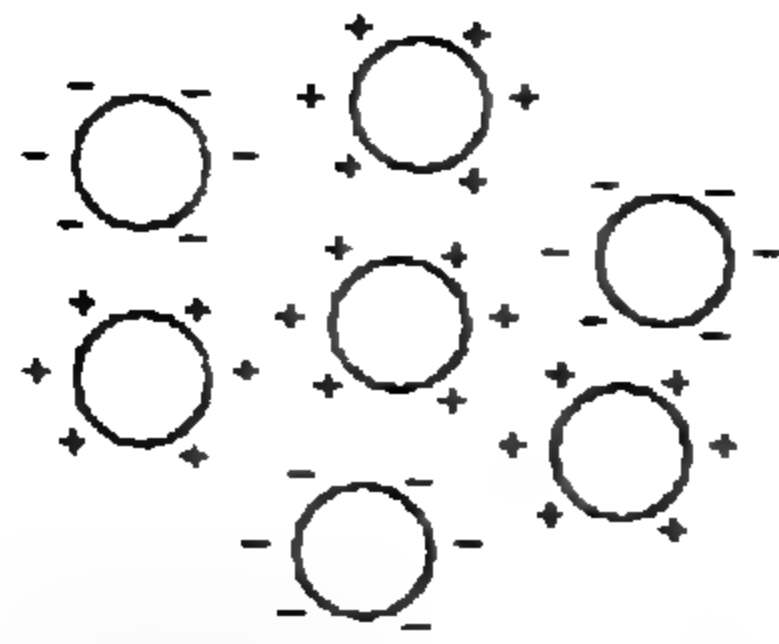
Hydroxylated carboxylic acids and their salts.

2 — طريقة العمل :

عند خلط الخرسانه ، وبها تلك الماده فإن تلك الماده يتم إمتصاصها بواسطة المواد الناعمة مثل حبيبات الأسمنت ، وتولد شحنات كهربيه سالبه على حبيبات الأسمنت ، وتتأفر حبيبات الأسمنت داخل الخرسانه ، وتصير حبيبات الماء حرة لتستخدم أغلبها فى الفترة الأولى فى تحسين التشغيليه انظر شكل (8-1) الذى يوضح تحسين انتشار الأسمنت نتيجة الشحنات السالبة.

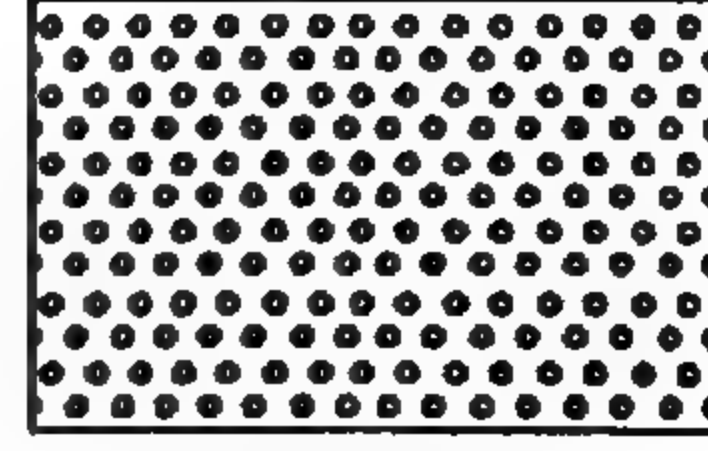
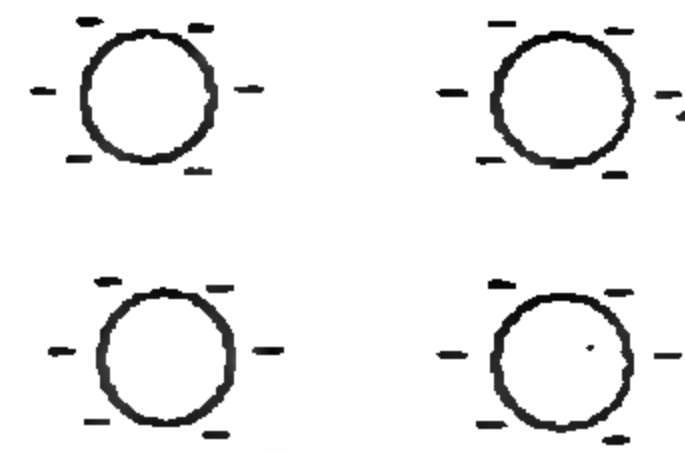
3 — الجرعة (Dose):

تتميز المواد الملدنة بصغر جرعتها حيث تتراوح بين 0.2 الى 0.50 % من وزن الأسمنت ( فى حدود 2 لتر / متر مكعب خرسانه) ويفضل أن تضاف الماده مع ماء الخلط أو إضافة ماء الخلط مباشرة فى الخلاطه الوزنيه يليها الإضافه ، ويجب التنبيه على أن لاتستخدم جرعات إضافيه Re-dose ، والإ فلن تشك الخرسانه.



(أ)

عدم وجود مواد ملدنة



(ب)

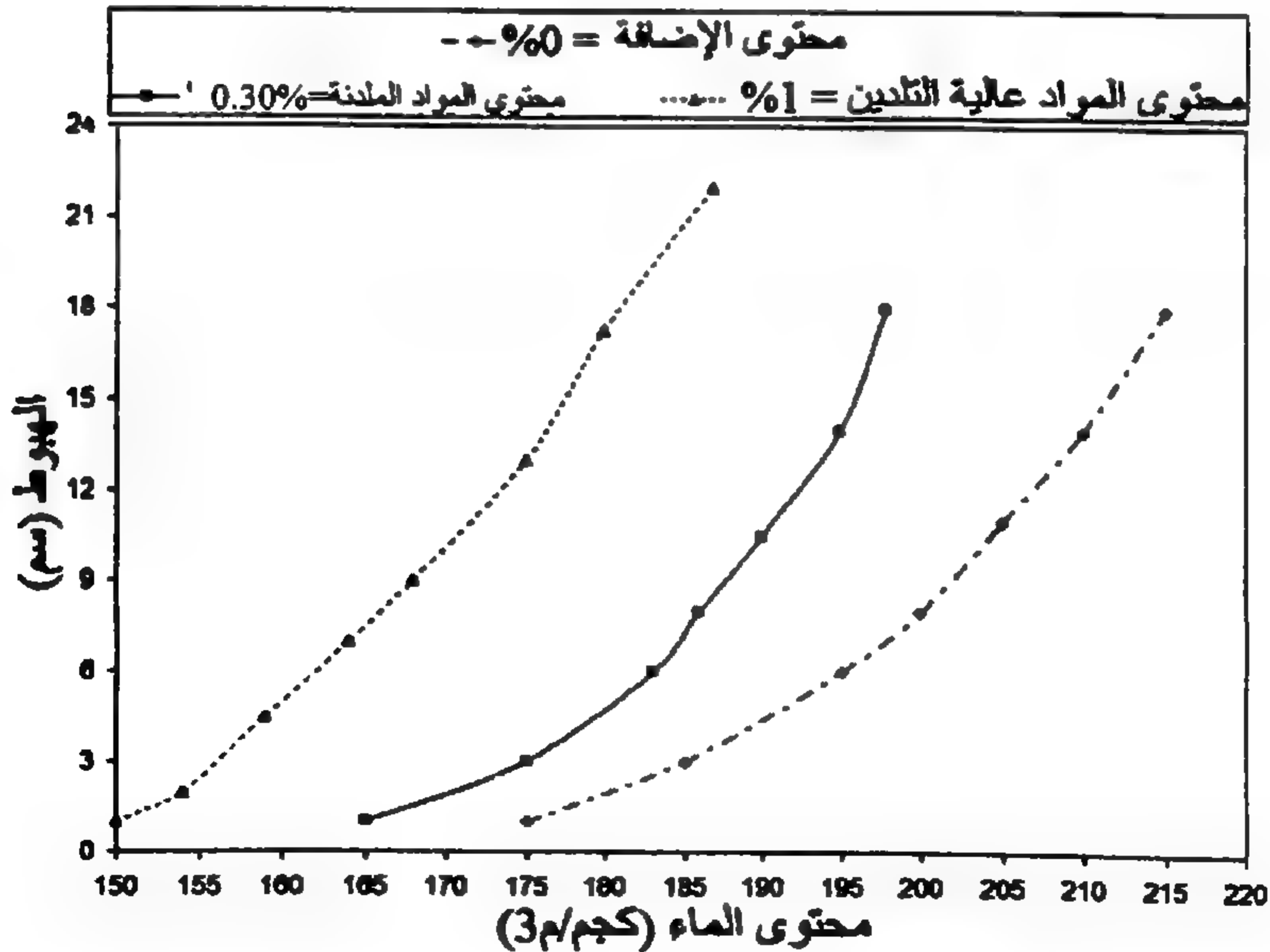
وجود مواد ملدنة

شكل (8-1) تأثير المواد الملدنة على الانتشار الجيد لحبيبات الأسمنت

4 - تأثير الإضافات الملدنة على خواص الخرسانة :

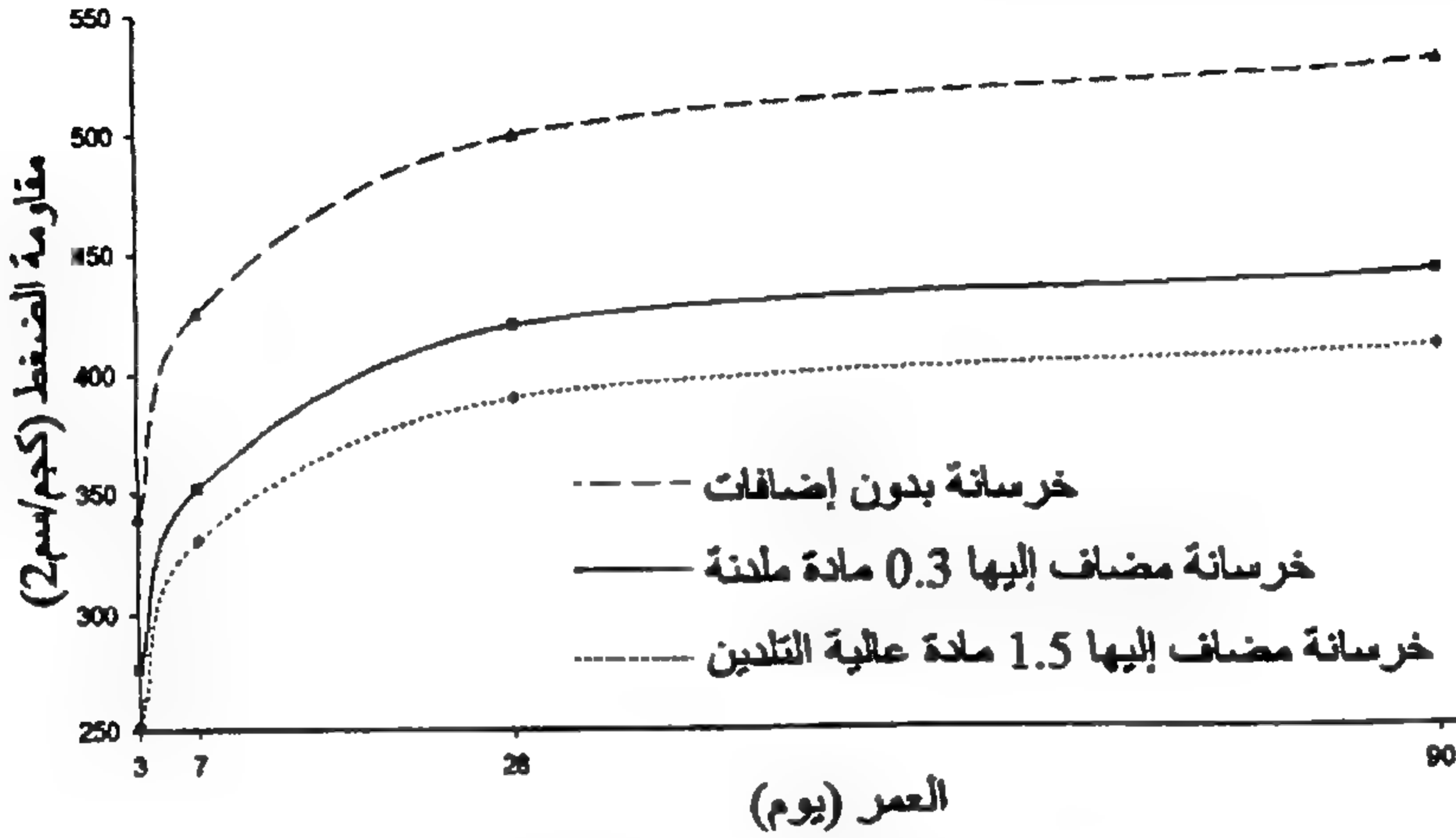
Effect of Plasticizers on concrete properties:

شكل (8-2) يوضح العلاقة بين محتوى الماء في المتر المكعب للخرسانة والهبوط للخرسانة الطازجة سواء لخرسانة بدون إضافات وخرسانة مضاف إليها مواد ملدنة أو مواد عالية التلدين.



شكل (8-2) العلاقة بين محتوى الماء والهبوط في حالة الخرسانة العادية والخرسانة ذات المواد الملدنة والعالية التلدين

- عند نفس محتوى الماء يلاحظ أن إضافة المادة الملدنة تزيد من الهبوط أى تحسن التشغيلية
- لإنتاج خرسانه لها نفس الهبوط فإن إستخدام تلك المواد يسمح بتخفيض محتوى الماء بنسبة تتراوح بين 5 ، 10 % وبالتالي تسمح بتخفيض نسبة الماء للأسمنت .
- للخرسانه التى لها نفس الهبوط فإن الخرسانه التى بها مواد ملدنة تحقق مقاومة ضغط أعلى من المقاومة التى تحققها نفس الخرسانه بدون إضافات، انظر شكل (3-8) وهذا يعوض الى ان استخدام تلك المواد يقلل نسبة W/C .



- شكل (3-8) العلاقة بين العمر ومقاومة الخرسانة لنفس الهبوط للخرسانة العادية والخرسانة ذات المواد الملدنة والعالية التلدين
- بعض الأنواع من تلك الإضافات إستخدامه قد يؤجل من شك الخرسانة .
  - للخرسانه التى لها نفس الهبوط فإن إستخدام تلك المواد لا يؤثر تقريباً على إنكماش أو زحف الخرسانه أو قد يزيدهما قليلاً .

### 2-2-3-8 الإضافات عالية التلدين Super plasticizers

وهى مواد عند إضافتها للخرسانه تحسن التشغيلية بدرجة كبيرة .

- 1 — الأساس الكيميائى :  
تشتق تلك المواد من مواد متعددة منها :
  - Sulfonated melamine formaldehyde condensates .
  - Sulfonated naphthalene formaldehyde .
  - Modified legns sulfonic polymers .
  - Sulfonic acid esters .

- 2 — طريقة العمل : Mechanism  
تتشابه طريقة العمل مع طريقة عمل المواد الملدنة ولكن الشحنات المتولده تكون أقوى لذلك فإن كفاءتها أفضل .

### 3 - الجرعة : Does

تعتمد الجرعة على الأساس الكيميائي ففي حالة الفورمالديدهيدات أو الميالمين والنافتالين تكون الجرعات عالية حيث تبدأ من حوالي 0.8 % وقد تصل إلى 3% من وزن الأسمنت وفي حالة البولييمرات المشتقة من اللجنوسلفو ألومينات أو أحماض الأسترات فيفضل أن لا تزيد الجرعة عن 2 % وفي حالة الأسمنتات التي بها نسبة C3A منخفضه مثل الأسمنت المقاوم للكبريتات أو الأسمنت المعدل فيفضل تخفيض الجرعة القصوى عن ما يوصى به المنتج .

وبالنسبة لهذا النوع من الإضافات فيمكن إضافة الجرعة على عدة مراحل خلال نقل الخرسانة (Use of Redoes) إذا كانت مسافة النقل طويلة .

### 4 - تأثير الإضافات عالية التلدين : Effect of super plasticizers

— كما هو موضح بشكل (8-2) فإن إضافة المواد عالية التلدين تحسن التشغيلية بدرجة كبيرة ولذلك يمكن إنتاج خرسانه عالية التشغيلية ذات هبوط 20 سم ويمكن إنتاج خرسانه ذاتية الدمك وخرسانه قابلة للضخ .

— عند إنتاج خرسانه لها نفس هبوط الخرسانه بدون إضافات فإن استخدام تلك المواد يسمح بتخفيض محتوى الماء بنسبة تتراوح بين 12 ، 25 % وبالتالي تقل نسبة الماء للأسمنت — إضافة المواد عالية التلدين يزيد من الهبوط وتحسن التشغيلية كثيراً .  
— حيث أن تلك المواد لزوجتها عالية فإنها تقلل احتمال حدوث النزيف أو الانفصال .  
— بعض المواد قد تزيد من زمن الشك .

— استخدام تلك المواد يسمح بتخفيض نسبة الماء للأسمنت لذلك تتحسن مقاومة ضغط الخرسانه وخاصة في الأعمار المبكره (انظر شكل 8-3) .  
— تخفيض نسبة الماء للأسمنت يسمح بتحسين تحميلية الخرسانه .  
— استخدام جرعات عالية يزيد من الإنكماش .

### 8 - 3 - 2 - 3 الإضافات المؤجله : Retarding Admixtures

وهي إضافات تضاف للخرسانه لتأجيل زمن الشك الابتدائي والنهائي .

1- الأساس الكيميائي :

توجد مواد متعددة منها .

— الجلوكوز ومشتقاته

— أحماض الهيدروكربوكسيلك وأملاحها .

— أحماض اللجنوسلفونات وأملاحها .

### 2 - طريقة العمل :

عند إضافة تلك المواد للخرسانه فإن أغلبها يؤجل تفاعل C3S (سليكات ثلاثي الكالسيوم) الموجوده في الأسمنت مع الماء وبالتالي يزيد زمن الشك وقليل من تلك المواد تؤجل من تفاعل C3A والجبس مع الماء ومن هذا يتضح أن تلك المواد تؤجل ظهور C-S-H أو المونوسلفو ألومينات . ولذلك يجب الحرص على عدم زيادة جرعات تلك المواد وإلا فلن تشك الخرسانه ويجب الحذر في استخدام تلك المواد بحيث تستخدم بجرعات صغيره في حالة استخدام أسمنت مقاوم للكبريتات أو أسمنت من النوع الثاني TYPE II طبقاً للـ ASTM .



3 - الجرعه :  
يفضل أن لاتزيد الجرعه عن مايوصى به منتج الماده وغالبا ما تكون تلك الجرعة في حدود 2 لتر حتي محتوي اسمنت 400 كجم / متر مكعب .

4 - تأثير الإضافات المؤجله للشك : Effect of Retarding admixtures  
- زيادة زمن الشك الابتدائي والنهائي بمدة ساعه على الأقل .  
- تقلل من المقاومة المبكره عند عمر يوم وثلاثة أيام وقد تقلل مقاومة السبعة أيام وعموماً يجب أن لايزيد النقص في المقاومة عن 10 % عند مقارنتها بمقاومة الخرسانه بدون مؤجلات .  
- إستخدام تلك المواد يزيد من معدل الإنكماش والزحف الأولى لكن تأثيره قليل للقيم القصوى للإنكماش والزحف .

5 - الإستخدام : Use  
- تستخدم عند نقل الخرسانه لمسافات طويله .  
- تستخدم في الجو الحار .  
- تستخدم لصب الخرسانه في الأساسات العميقه والخوازيق وفي صب الخرسانه ذات السمك الكبير مثل اللبشه ( Raft ) .

4-2-3-8 - الإضافات المعجله : Accelerating Admixtures  
وهي مواد تضاف للخرسانه من أجل اسراع الشك والحصول على مقاومة مبكره لفك الشدات مبكراً .

1 - الأساس الكيميائي :  
- الأملاح الغير عضويه القابله للذوبان في الماء مثل كلوريد الكالسيوم ، الومينات الكالسيوم والصوديوم و كربونات الكالسيوم ونترات الكالسيوم .

2 - طريقة العمل :  
هذه المواد تعمل على تعجيل إتحاد C3S مع الماء وكذلك تعجيل إتحاد C3A والجبس مع الماء وبالتالي يقل زمن الشك الابتدائي والنهائي، ويجب الا يزيد هذا التعجيل عن ساعه مقارنة بالخرسانه بدون إضافات معجله .

3 - الإستخدام والمحاذير :  
- يستخدم في الأجواء الباردة .  
- يستخدم عندما نريد فك الشدات مبكراً .  
- تستخدم في الخرسانه المقنوفه Shot creet .  
- يزيد من المقاومة المبكره ( يزيد من مقاومة الضغط عند عمر يوم واحد بحوالى 50 % ) ولكنه يقلل الأعمار المتأخره (90 يوم ) .  
- تقلل تلك المواد من مقاومة صلب التسليح للصدأ لذلك يحذر من إستخدام تلك الإضافات للخرسانه سابقة الإجهاد إلا إذا كانت خاليه من الكلوريدات ويحظر إستخدامها في الأجواء الرطبه.



5-2-3-8 . كيفية الحكم على الإضافات الكيميائية طبقاً للـ ASTM C 494-81 .  
 للحكم على صلاحية الإضافات يتم الحكم عليها من خلال اختبارات الأداء والاختبارات الكيميائية وسنتناول في هذا القسم اختبارات الأداء .  
 - يتم تنفيذ خلطتين خرسانيتين أحدهما خلطه بدون إضافات كيميائية وخلطه أخرى مضاف إليها إضافات كيميائية بحيث يكون محتوى الأسمنت ثابت في الخلطتين وكذلك الهبوط ويتم تحديد محتوى الماء الذي يحقق نفس الهبوط .  
 - إما أن يتم الحكم على جودة الإضافات باستخدام خلطه خرسانية تستخدم في الموقع بمحتويات معينة وبمحتوى أسمنت محدد يستخدم في الموقع وبحيث يتم الاحتفاظ بنسبة رمل لركام كبير ثابتة ويتم الحكم على الإضافة بناء على نتائج الخلطتين . أو يتم الحكم على المادة طبقاً لخلطه قياسية توصى به ASTM والتي ستذكر فيما يلي :  
 - يمكن استخدام الخلطه للخرسانة التي توصى بها ASTM - C494 والتي تنص على استخدام رمل قياسي يحقق التدرج التالي :

مقاس المنخل	4	16	50	100
% للمماس بالوزن	100	65 - 75	12 - 20	2 - 5

\* ويتم استخدام ركام كبير ذو نسب متساوية من المقاس الذي يمر على منخل 1" ويحجز على منخل 4/3 . المقاس الذي يمر من 4/3" ويحجز على 2/1" . المقاس الذي يمر من منخل 2/1" ويحجز على منخل 8/3" ، المقاس الذي يمر من منخل 8/3" ويحجز على منخل 16/3

\* تسنح نسبة رمل إلى ركام كبير ثابتة

\* يستخدم محتوى اسمنت 307 ± 3 كجم/م<sup>3</sup> ويستخدم نوع الأسمنت الموجود بالموقع  
 \* يتم تصميم الخلطه بحيث تحقق هبوط قدره 63 ± 12 مم لخلطه المقاربه بدون إضافة وللخلطه المستخدم فيها الإضافة .

- تستخدم الإضافة بالجرعه التي يوصى بها المنتج .  
 - يتم خلط الخرسانه قياسياً ويتم قياس الهبوط والهواء المحبوس وزمن الشك الابتدائي والنهائي للخرسانه ثم يتم صب عينات مقاومة الضغط والانحناء ويمكن قياس الإنكماش لعينات على هيئة منشور طبقاً للـ ASTM C157 وفي حالة الخرسانه ذات الهواء المحبوس يمكن حساب معامل التحمل بطريقة ASTM C666 والذي يعرض الخرسانه لدورات سريعة من تكون الثلج وذوبانه في الماء أو للتلج السريع في الهواء والذوبان في الماء .  
 - يحسب محتوى الماء المستخدم في الخلطتين ونحدد النسبه بين محتوى الماء للخلطه ذات الإضافات ومحتوى الماء لخلطه المقارنه .  
 - يتم الحكم على أدائية الإضافات بناء على نتائج الاختبارات وحدود الـ ASTM الموجوده في جدول رقم ( 1-8 ) .

جدول رقم ( 1-8 ) متطلبات الأدائية :

النوع G عالي التلدين مؤجل	النوع F عالي التلدين	النوع E ملدن معجل	النوع D ملدن مؤجل	النوع C معجل	النوع B مؤجل	النوع A ملدن	
88	88	95	95	—	—	95	1 — الحد الأقصى لمحتوى الماء بالنسبة لخلطة المقارنة %.
1.00 3.30	— 1.30	— —	1.00 3.30	— —	1.00 3.30	— 1.30	2 — زمن الشك الابتدائي ساعة
— —	— 1.00	1.00 3.30	— —	1.00 3.30	— —	— 1.00	تأجيل حد أدنى تأجيل حد أقصى
— 3.30	— 1.30	— —	— 3.30	— —	— 3.30	— 1.30	3 — زمن الشك النهائي ساعة
— —	— 1.00	1.00 —	— —	1.00 —	— —	— 1.00	تأجيل حد أدنى تأجيل حد أقصى
125 125 115 110 100 100	140 125 115 110 100 100	— 125 110 110 100 100	— 110 110 110 100 100	— 125 110 100 90 90	— 90 90 90 90 90	— 110 110 110 100 100 100	% مقاومة الضغط كحد أدنى * من مقاومة ضغط خرسانه (يوم) + التحكم لعمر
110 100 100	110 100 100	110 100 100	100 100 100	110 100 90	90 90 90	100 100 100	% لمقاومة الإنحناء كحد أدنى عند عمر (يوم)
135	135	135	135	135	135	135	% التغير في الطول كحد أقصى من خلطة التحكم .
135	80	80	80	80	80	80	معامل التحكم النسبي كحد أدنى .

+ زمن الشك المذكور بالساعة والدقيقه مثلاً 1.30 معناه ساعه وثلاثون دقيقه .

### 3-3-8 الإضافات المعدنية : Mineral Admixture

وهي مواد ناعمة جداً تضاف للخرسانه بمحتوى عالى نسبياً لإكساب الخرسانه ميزه معينه وهذه المواد تنقسم من جهة الخامه الى :

— غبار سليكا، رماد طائر Fly ash ، غبار حرق قشر الأرز Husk rice ash ، خبث الأفران المنشط المطحون ، ميتاكاولين ومن جهة النشاط توجد عدة تقسيمات منها ما يلي:

### 8-3-3-1 تقسيم الإضافات المعدنية :

#### 1 — تقسيم هيئة اختبار المواد الأمريكية ASTM – C618

تقسم الـ ASTM الإضافات المعدنية الى ثلاثة أنواع هي C & F & N و جدول رقم (8-2) يحتوى على خواص تلك المواد وتقسيمها بناء على محتوى السليكا والألومينا وأكسيد الحديد .

جدول (2-8) تقسيم ASTM C618 للإضافات المعدنية :

التقسيم	$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ حد أدنى %	$SO_3$ حد أقصى %	محتوى الماء % حد أدنى	الفاقد بالحرق بعد أقصى %	الوصف
النوع N "Class N"	70	4	3	10	مثل المواد البوزولانية الطبيعية أو الطبيعية المكلسنة
النوع F "Class F"	70	5	3	6	مثل الرماد الطائر الناتج من حرق الفحم البيتوميني وله فعل بوزولاني .
النوع C "Class C"	50	5	3	6	مثل الرماد الطائر الناتج من اللجنائيت أو من الفحم تحت البيتوميني وهو بجانب فعله البوزولاني له بعض الخواص الأسمنتية .

2- تقسيم مهتا Mehta .

قام مهتا بتقسيم تلك المواد إلى :

1 - مواد ذات فعل أسمنتى مثل الخبث المطحون المنشط ( Ground blast furnace slag ) وهذه المادة تستخدم في صناعة الأسمنت عالى الخبث .

2 - مواد ذات فعل أسمنتى بوزولانى مثل الرماد الطائر المحتوى على نسبة عالية من الكالسيوم (Type G)

3 - مواد ذات فعل بوزولانى وتنقسم بدورها إلى :

أ - مواد ذات فعل بوزولانى عالى النشاط High active pozzolans مثل غبار السليكا (Condensed silica fume) ومثل رماد حرق قشر الأرز Rice husk ash والمطحون لدرجة طحن عالية حيث تتكون تلك المواد من سليكا خالصة في هيئة غير بلورية والرماد الطائر (Type F)

ب - مواد ذات فعل بوزولانى عادى مثل الرماد الطائر منخفض الكالسيوم والمواد الطبيعية مثل المواد البوزولانية الطبيعية التى تحتوى على الكوارتز والسليكا والفلسبار .

ج - المواد ذات الفعل البوزولانى للضعيف مثل الخبث المبرد ببطئ وغبار حرق قش الأرز المحروق فى الحقل ( حرق غير جيد ) .

3- التقسيم بناء على نوع المنتج .

يتم تقسيم الإضافات إلى إضافات معدنية طبيعية ( مثل المواد البوزولانية البركانيه ومثل الطين المكلسن ) وإضافات تنتج موازيه لصناعة مادة أخرى (By - Product) مثل غبار السليكا والرماد المتطاير حيث أنها ليست المواد الأساسية الناتجة من الصناعة .

3-3-8-2 المواد المعدنية التي يمكن إنتاجها في مصر .  
جدول (3-8) يحتوى على التحليل الكيميائي لبعض المواد التي تنتج في مصر .

#### 1- غبار السليكا Silica Fume

وهي مادة أساسها سليكون تنتج في مصر بجانب صناعة الألومنيوم في إدفو وهي مادة تتميز بنعومة عالية حيث أن مساحتها السطحية 167000 مم<sup>2</sup> / جم أي حوالى 50 ضعف من المساحة السطحية للأسمنت ووزنها النوعى أقل من الوزن النوعى للأسمنت (حوالى 2.6) .

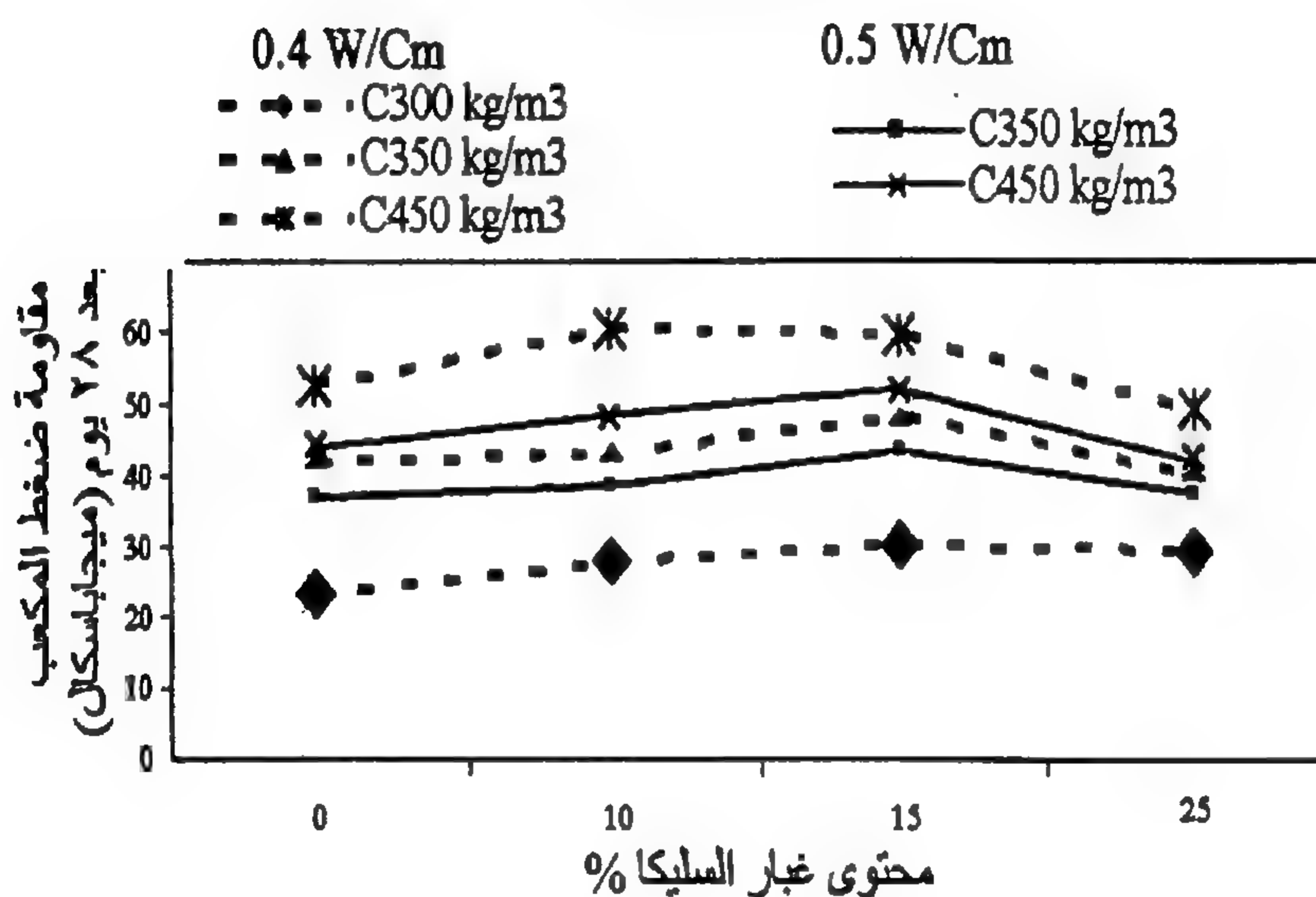
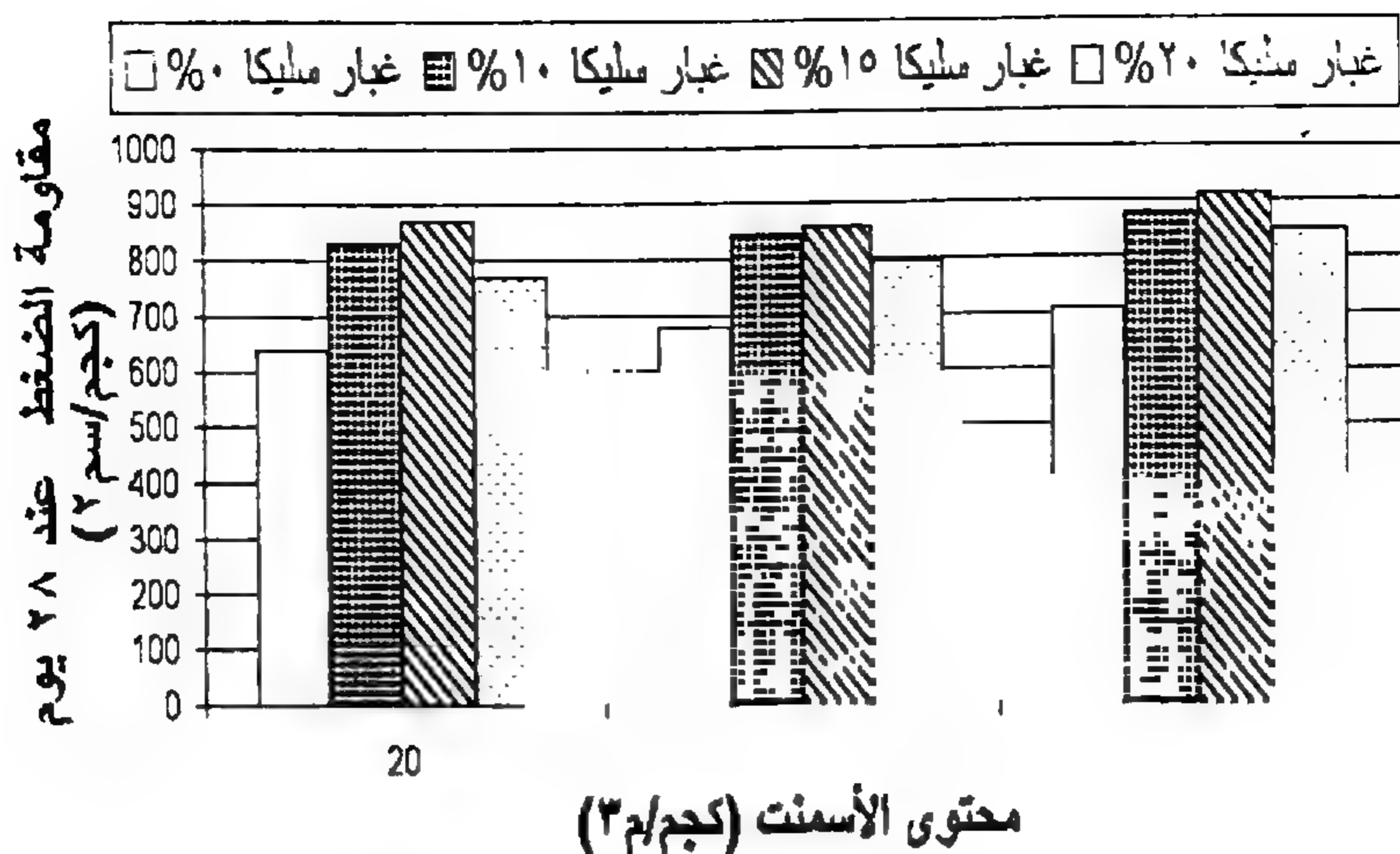
جدول رقم (3-8) مثال للتحليل الكيميائي للإضافات المعدنية .

المركب	غبار السليكا	ميثا كاولين
أكسيد السليكون	93	71
أكسيد الألومنيوم	0.2	22
أكسيد الحديد	0.5	2
أكسيد الكالسيوم	5.2	0.20
أكسيد المغنسيوم	0.50	0.15
ثالث أكسيد الكبريت	0.15	2.45
أكسيد الصوديوم	0.20	0.20
أكسيد البوتاسيوم	0.50	—
الفاقد فى الوزن	1.21	2.00

ونظراً لنعومتها الشديدة يمثل تناولها عيب رئيسى لها ولذلك دولياً إما أن تعبأ فى صورتها الطبيعية (Un compacted) وتكون تكلفة نقلها عالية ويكون نشاطها البوزولانى عالى أو تعبأ بعد دمكها (Pelletized / densified) وهنا تقل تكلفة النقل ولكن يقل النشاط البوزولانى ويمكن تعبئتها فى صورة محلول (Water slurry) حيث يقل التلوث ويسهل النقل ولكن يجب ضبط قلويتها (PH) حتى لا يتكون جل .

ونظراً لنعومتها العالية فإن الحبيبات تملأ أية فراغات موجوده فى الخرسانه بالإضافة لوجود الفعل البوزولانى ولذلك فإن إستخدامها بنسبة تتراوح بين 8 ، 15 % كإحلال من وزن الأسمنت تحسن من مقاومة الضغط، انظر شكل (3-8) ، كما أثبتت الأبحاث أن إستخدام غبار السليكا يحسن من مقاومة الصداً ويحسن من تحمل الخرسانه لكبريتات الصوديوم ولكنه يقلل من تحمل الخرسانه لمهاجمة كبريتات المغنسيوم .





شكل (4-8) تأثير غبار السليكا على مقاومة الضغط للخرسانة عند 28 يوم .

كما أن إحلال جزء من الأسمنت بغبار السليكا يقلل من إنكماش الخرسانة .

## 2 - ميتاكاولين Meta Kaolin .

وهذه المادة تنتج في العالم ويمكن إنتاجها في مصر من مادة الكاولين المتوفرة في سيناء ويتم إنتاجها بحرق الكاولين لدرجة حراره تتراوح بين 600 و 900 درجة مئوية ويتم طحن المادة الناتجة لتعيمها للمساحة السطحية المطلوبه ، وعملية الطحن هي العملية الوحيدة التي تقف عائق في إنتاج هذه المادة في مصر وتتميز هذه المادة بفعالها البوزولاني وإستخدامها كجزء إحلالى من الأسمنت حتى 15 % وهى تحسن مقاومة الضغط وتحسن من مقاومة صدا صلب التسليح .



### 3- الخبث Slag

إن خبث الحديد الذي ينتج في مصر عند طحنه وإضافته لكلنكر الأسمنت يجب ألا تزيد نسبته عن 30 % لأن هذا الخبث لا يتم تنشيطه . إما الخبث المنشط لا ينتج في مصر وتقوم بعض شركات الأسمنت باستيراد الخبث المنشط وتضيفه لكلنكر الأسمنت لإنتاج الأسمنت عالي الخبث ( أنظر باب الأسمنت ) .

### 4- غبار قشر الأرز Husk rice ash

تنتشر زراعة الأرز في مصر ومنذ الأزمنة القديمة كان يستخدم ناتج حرق قشر حبيبات الأرز كمادة بناء وكان يطلق على هذا المنتج اسم القسرمل ، حيث كان يضاف للجير ليستخدم كمونه لآحمة . وأثبتت الأبحاث المجراه أنه بطحن المادة الناتجة من حرق قشر الأرز تنتج مادة بوزولانية تستخدم كإضافه معدنية للخرسانه ومن المهم التأكيد على الفرقه بين حرق قشر الأرز وبين حرق سيقان نبات الأرز ، حيث أن حرق السيقان بعد طحنها يكون الفعل البوزولاني فيها ضعيف جداً .

### 8-3-3-3 فعل الإضافات المعدنية .

إن الإضافات المعدنية تحسن خواص الخرسانه من خلال أو كل الأنشطة التاليه :

#### 1- النشاط البوزولاني Pozzolanic effect .

وهو النشاط الذي ينتج من اتحاد أكسيد السليكون الموجود في الإضافه الكيميائيه مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود في الخرسانه وينتج جل إضافي يحقق مقاومة إضافية



وهذا النشاط بطيئ ولذلك يملأ هذا الجل أية فراغات في الخرسانه وأثبت تصوير الخرسانه بالميكروسكوب أن الفراغات الدقيقه تملأ عند استخدام المواد البوزولانيه وبذلك فإن الفعل البوزولاني يثبت هيدروكسيد الكالسيوم وأثبتت الأبحاث أن هذا التفاعل لا يقلل قلوية الخرسانه كثيراً حيث تكون PH في حدود 12.5 وبذلك يحسن تحمل الخرسانه عامه .

#### 2- الفعل الأسمنتي :

بعض أنواع الإضافات المعدنية مثل الرماد الطائر ( الرماد الطائر عالي الكالسيوم) تحتوي على نسب من C3A و CS و C4A3S بالإضافة لنسبة من 'جير Free Lime وهذه المواد تتحد مع الماء وتكون ماده لآحمة أسمنتيه .

#### 3- فعل الملاء Filling effect .

بعض الإضافات المعدنية ذات النعومه العاليه مثل غبار السليكا والرماد الطائر عند إضافتها للخرسانه فإن نعومتها العاليه تجعلها تملأ جزء من الفراغات الموجوده بالخرسانه مما يجعل الخرسانه أعلى كثافه وأفضل تحميلة . ويلاحظ أن الإضافات ذات الفعل الأسمنتي والبوزولاني الضعيف تساعد الخرسانه بهذا الفعل بالإضافة لإستخدامها لأغراض أخرى مثل تقليل النزيف في الخرسانه المضخوخه أو المصبوبه تحت الماء .

## الباب التاسع

### تشكل الخرسانة (Deformations of Concrete)

#### 9-1 مقدمة:

يتناول هذا الباب التشكلات التي تحدث بالخرسانة أثناء خدمتها في عمرها. ويمكن تلخيص هذه التشكلات فيما يلي:

1. التشكلات الناتجة من إجهادات التشغيل.
  2. التشكلات الناتجة من حركة المياه إلى داخل الخرسانة أو خارجة من الخرسانة.
  3. الزحف الذي يعتمد على الزمن لعضو مجهود.
- وعموماً فحتى يأخذ المهندس تأثير هذه الانفعالات أو بعض منها على المنشآت، فعليه التعرف على معايير مرونة الخرسانة.

#### 9-2 معايير مرونة الخرسانة الاستاتيكي Static Modulus Of Elasticity :

##### 9-2-1 عام

من المعلوم أن المهندس عند التصميم يحتاج لحساب تشكلات العضو الخرساني، ويمكن إجمال حساب التشكلات كما يلي:

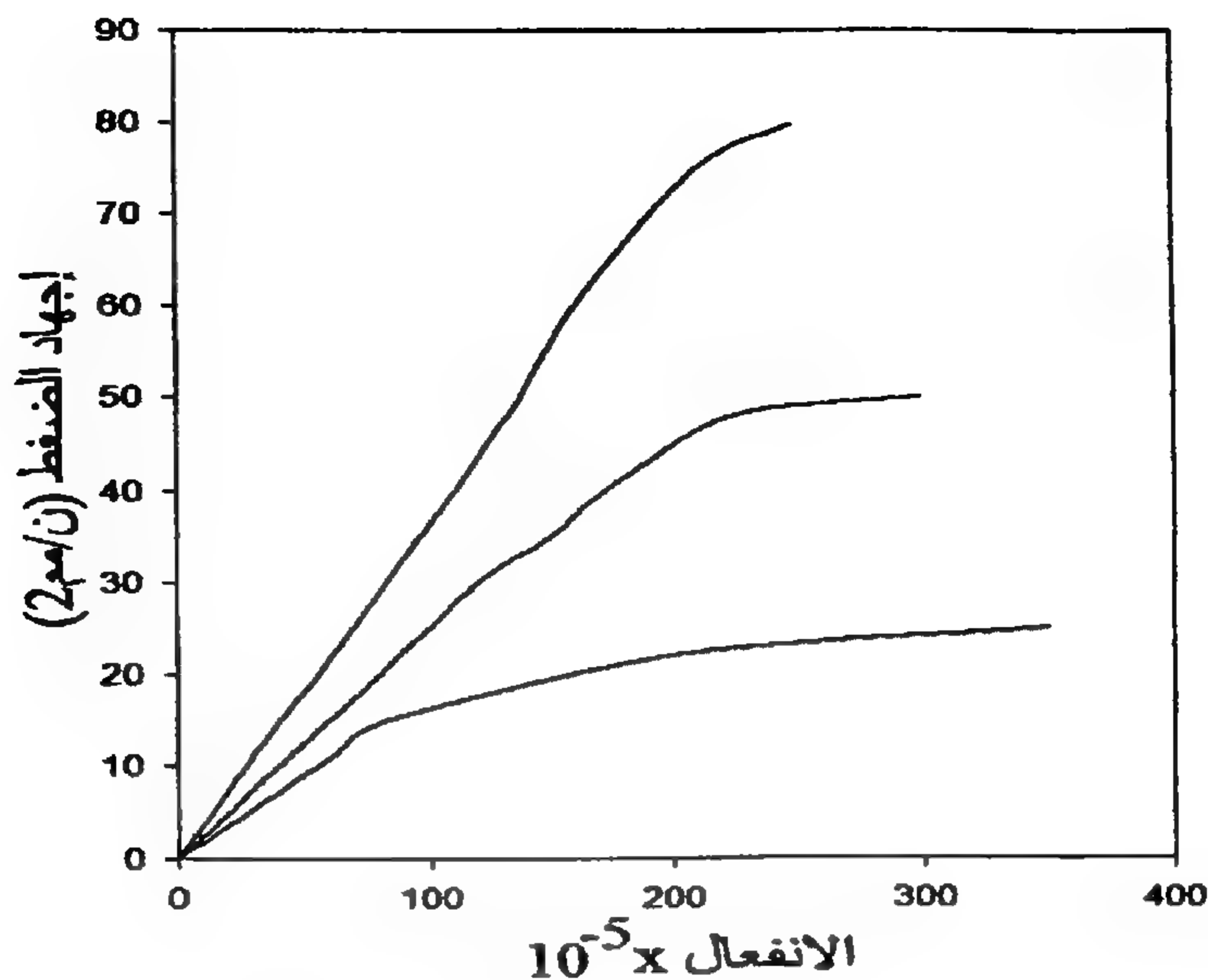
- تشكل عضو محوري، و يحسب من المعادلة:  $\Delta L = \frac{C \cdot L}{A \cdot E}$

حيث C القوة المحورية و L طول العضو و A مساحة المقطع و E معايير المرونة.

- تشكل عضو معرض لعزم انحناء، و يحسب من العلاقة:  $\frac{d^2 y}{dx} = -\frac{M_x}{E \cdot I}$

حيث y هو شكل الكمرة المعرضة لعزم انحناء  $M_x$  وهو العزم الحادث عند قطاع يبعد x من نقطة الأصل.

وعموماً عند دراسة العلاقة بين إجهاد الضغط والانفعال لعينات من خرسانات مختلفة المقاومة. وجد أن العلاقة تكون كما هو مبين بشكل (9-1).



شكل (9-1) علاقة تخطيطية بين الإجهاد والانفعال

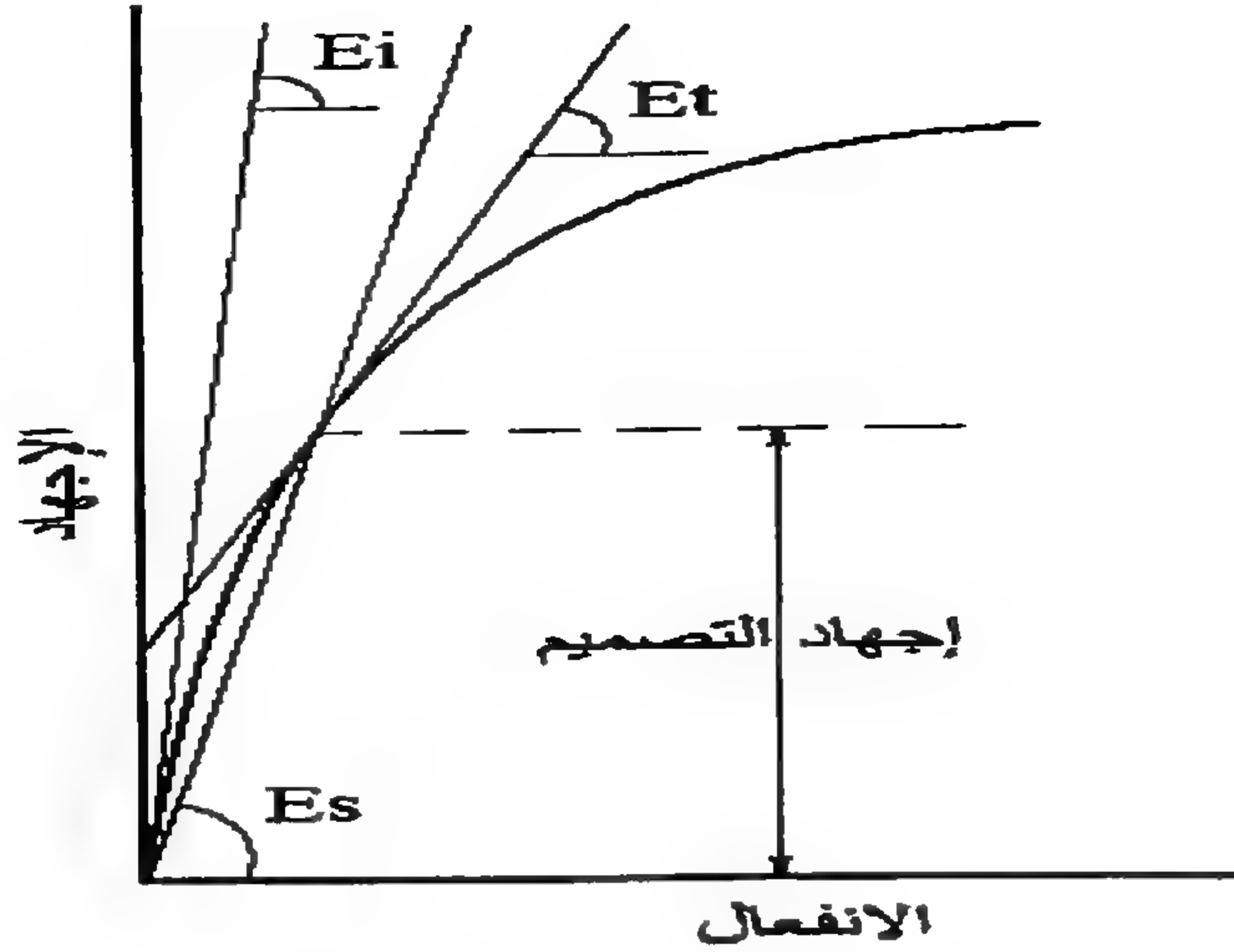
من هذا الشكل يتضح أنه كلما زادت مقاومة الخرسانة يتحسن معايير المرونة ولكن تقل ممطولية الخرسانة. ويعتبر نقص الممطولية أحد المشاكل التي تواجه الخرسانة فائقة المقاومة، حيث تزيد قصافتها مما يجعل الانهيار أقرب للانهيار المفاجيء. و يتضح منه ايضاً أن للخرسانة عالية المقاومة تكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال في بداية المنحنى أقرب ما تكون للخط المستقيم.

وباستخدام قانون هوك يمكن حساب معايير المرونة.

$$\text{معايير المرونة} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

ونظراً لأن الخرسانة ليست مادة مرنة ولأن العلاقة بين الإجهاد والانفعال ليست خطية، فإنه يمكن حساب معايير المرونة الاستاتيكي للخرسانة في الضغط باستخدام إحدى الطرق التالية، انظر شكل (9-2).

- معايير التماس الأولى  $E_i$  Initial tangent modulus
- معايير التماس  $E_t$  Tangent modulus
- معايير القاطع  $E_s$  Secant modulus



شكل (2-9) طرق تحديد معايير المرونة في الضغط

ويحدد الكود الوطنى للخرسانة المسلحة أو المواصفات القياسية الطريقة التى تتبعها كل دولة فى تحديد معايير المرونة.

#### 2-2-9 اختبار معايير المرونة الاستاتيكي في الضغط:

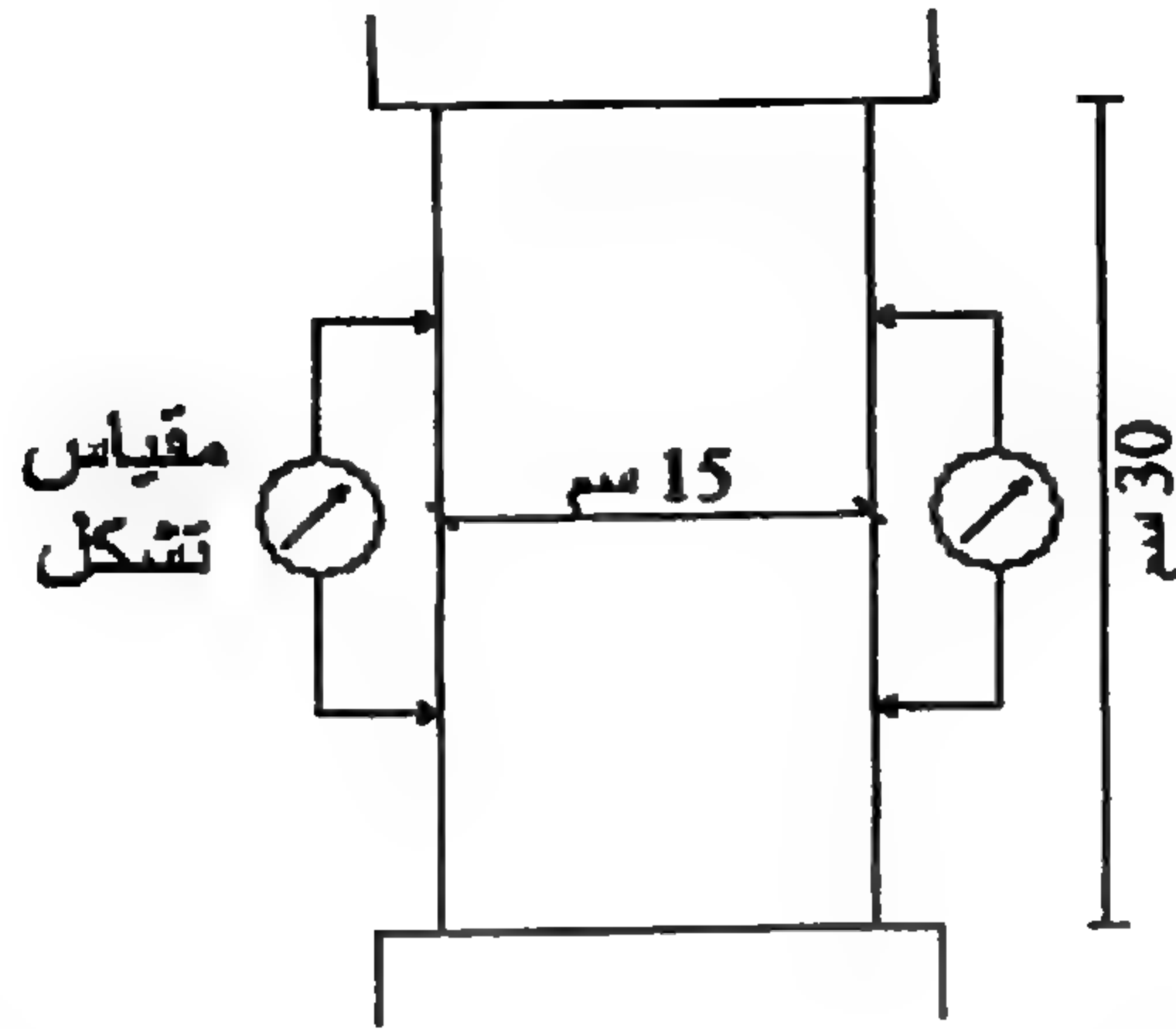
- يتم صب عدد معين من اسطوانات الخرسانة (30×15سم) ومعالجتها طبقاً لاشتراطات المواصفات القياسية.
- عند عمر الاختبار (غالباً ما يكون 28 يوم)، يتم تحديد مقاومة ضغط الخرسانة ( $F_{cu}$ ) عن طريق اختبار مجموعة من الاسطوانات فى الضغط حتى الانهيار.

$$\bullet \text{ حدد إجهاد التحميل المتغير } f_a = \frac{F_{cu}}{3}.$$

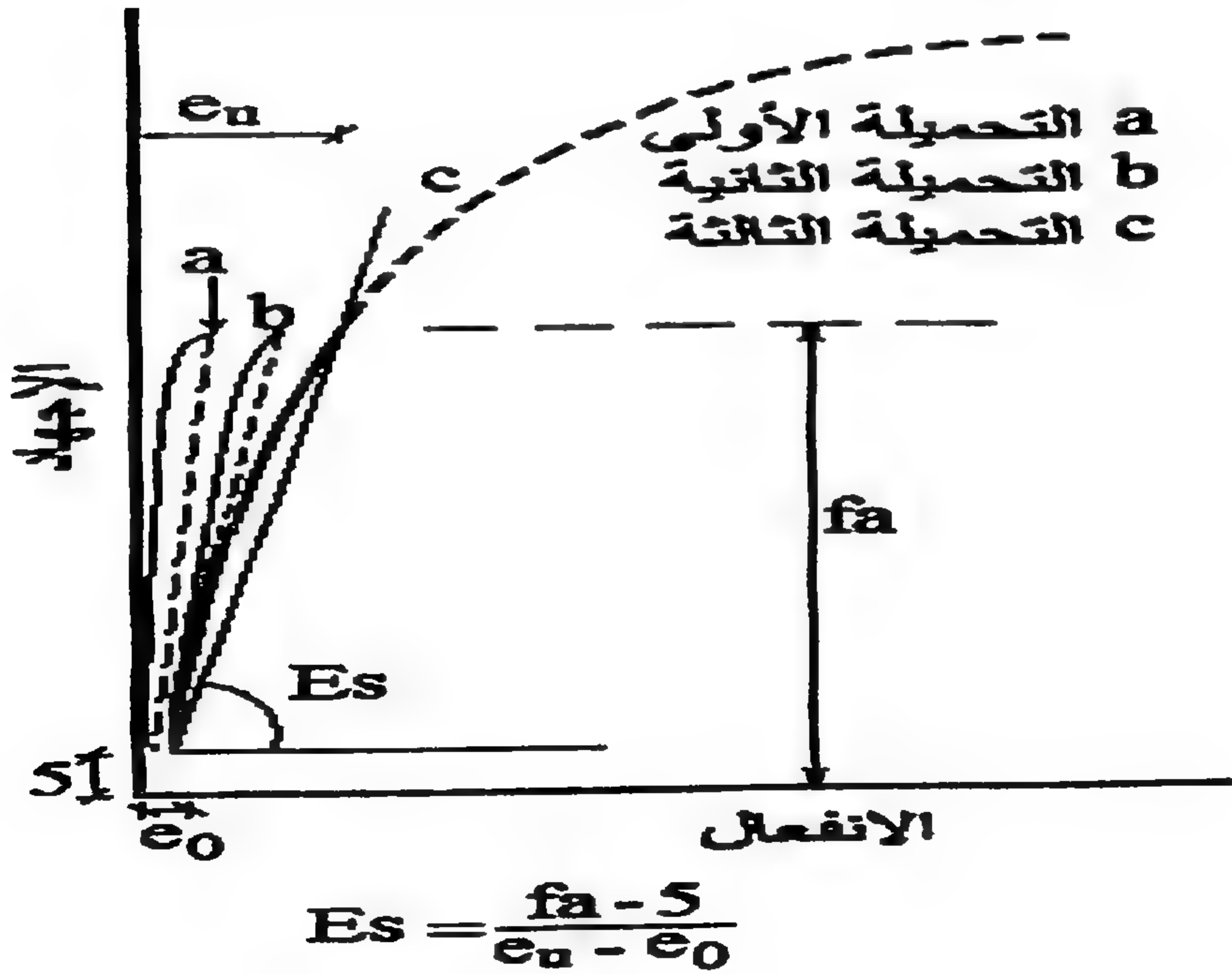
- يتم تثبيت مقياسين أو أكثر على جوانب الاسطوانة بطول قياسى 15سم لتحديد تشكل الخرسانة (شكل 3-9-أ) (يوجد جهاز خاص لمعايير المرونة الاستاتيكي بالسوق المحلى).
- تحمل العينة لأول دورة بالتدريج بمعدل 140 كجم/سم<sup>2</sup>/دقيقة، حتى نصل لحمل يولد إجهاد قدرة ( $f_a$ ) كجم/سم<sup>2</sup>، ونقرأ مقياس التشكل، ثم نرفع الحمل بالتدريج إلى أن نصل إلى الحمل الأدنى ( $C_{min}$ ) الذي يحقق إجهاد قدره 5 كجم/سم<sup>2</sup>، ثم نحدد القراءات.
- تحمل العينة للدورة الثانية بحمل أقصى ( $C_{max}$ ). بالتدريج ليولد إجهاد قدره ( $f_a$ ) كجم/سم<sup>2</sup>، ثم يرفع الحمل للوصول إلى الحمل الأدنى المذكور بالمرحلة الأولى، ويتم قراءة المقياس فى التحميل والإزالة.
- تحمل العينة للدورة الثالثة على عشرة تحميلات متساوية للوصول للحمل الأقصى المذكور فى المرحلة الثانية، وفى كل تحميلية نسجل قراءات التشكل.
- نتائج مرحلة التحميل الثالثة تستخدم لحساب الإجهاد والانفعال. وترسم العلاقة كما بشكل (3-9-ب) لتحديد معايير مرونة الخرسانة القاطع  $E_c$  كما هو مبين بالشكل :

$$\bullet \text{ وبالمعادلة التالية } E_s = \frac{f_a - 5}{e_u - e_0}$$

حيث  $e_u$  الإنفعال المناظر لإجهاد  $f_u$  و  $e_0$  الإنفعال المناظر لإجهاد 5 كجم/سم<sup>2</sup>  
 • وفي بعض المشاريع يمكن تحديد معايير المرونة من نتائج اختبار الانحناء الكمرى  
 برسم العلاقة بين حمل الانحناء والترخيم المناظر ويحسب معايير المرونة بالتعويض في  
 صيغة سهم الانحناء المذكور في كتب نظريات المرونة بدلالة حمل الانحناء وسهم  
 الانحناء المناظر لنقطة تقع على الخط المستقيم.



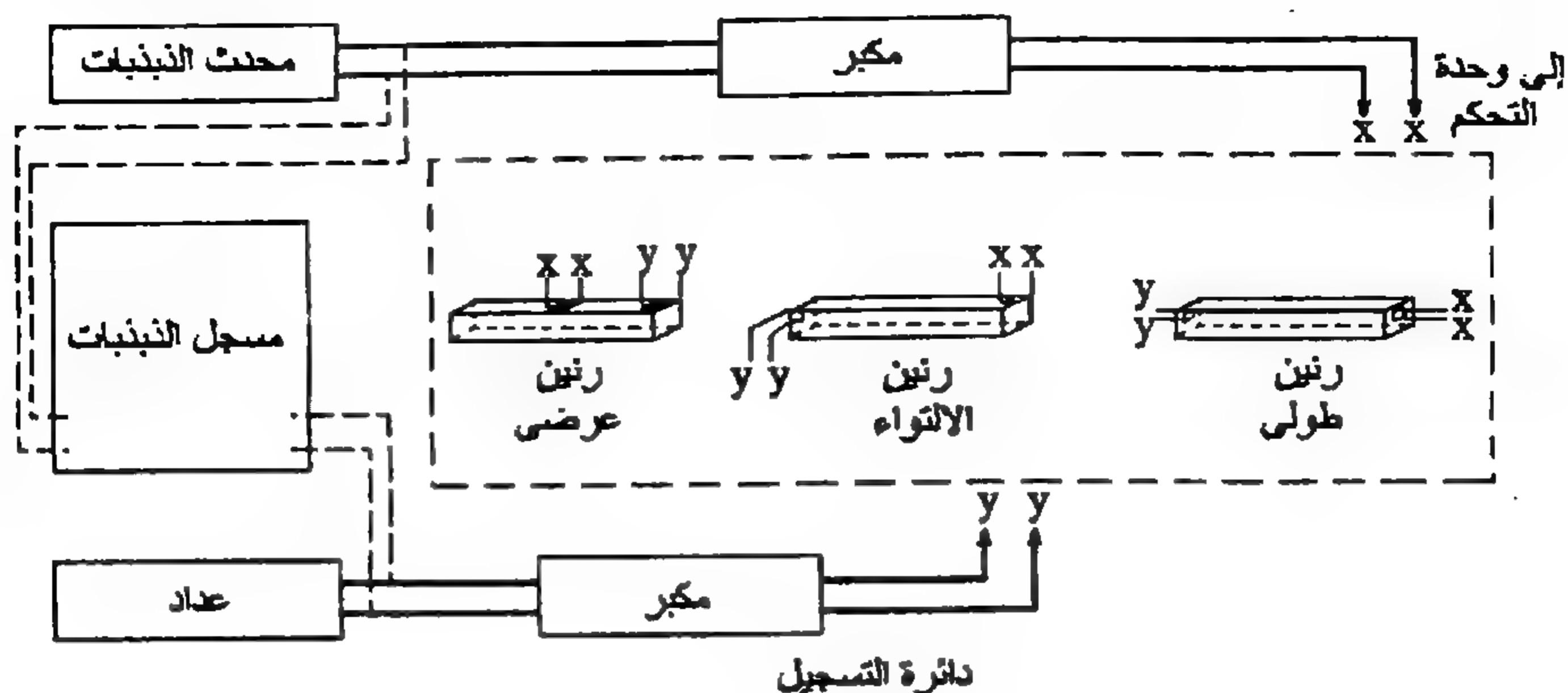
شكل (3-9-أ) رسم تخطيطي لجهاز قياس معايير المرونة الاستاتيكي



شكل (3-9-ب) طريقة تعيين معايير مرونة القاطع



3-2-9: معايير المرونة الديناميكية (Dynamic Modulus Of Elasticity (Ed): أثبت الباحثون أنه يمكن تحديد معايير المرونة بطريقة غير متلفة، بتعريض عينة خرسانية على هيئة اسطوانة أو منشور إلى الاهتزاز ترددياً عن طريق محدث ذبذبات، انظر شكل (4-9).



شكل (4-9) جهاز قياس معايير المرونة الديناميكية

ولتعيين معايير المرونة الديناميكية يتم تعريض العينة للاهتزاز بترددات مختلفة. وتردد الاهتزاز الذي تحدث أكثر انحراف بالعينة الرئيسية يتم تسجيلها، ويظهر ذلك عن طريق شاشة بالجهاز، وتردد الاهتزازة المحصول عليها تستخدم في حساب معايير المرونة الديناميكية من العلاقة:

$$E_d = K W . m^2 \quad \text{MPa}$$

حيث K = ثابت يتوقف على نوع الذبذبة هل هي عرضية أم طولية وكذلك نوع العينة.

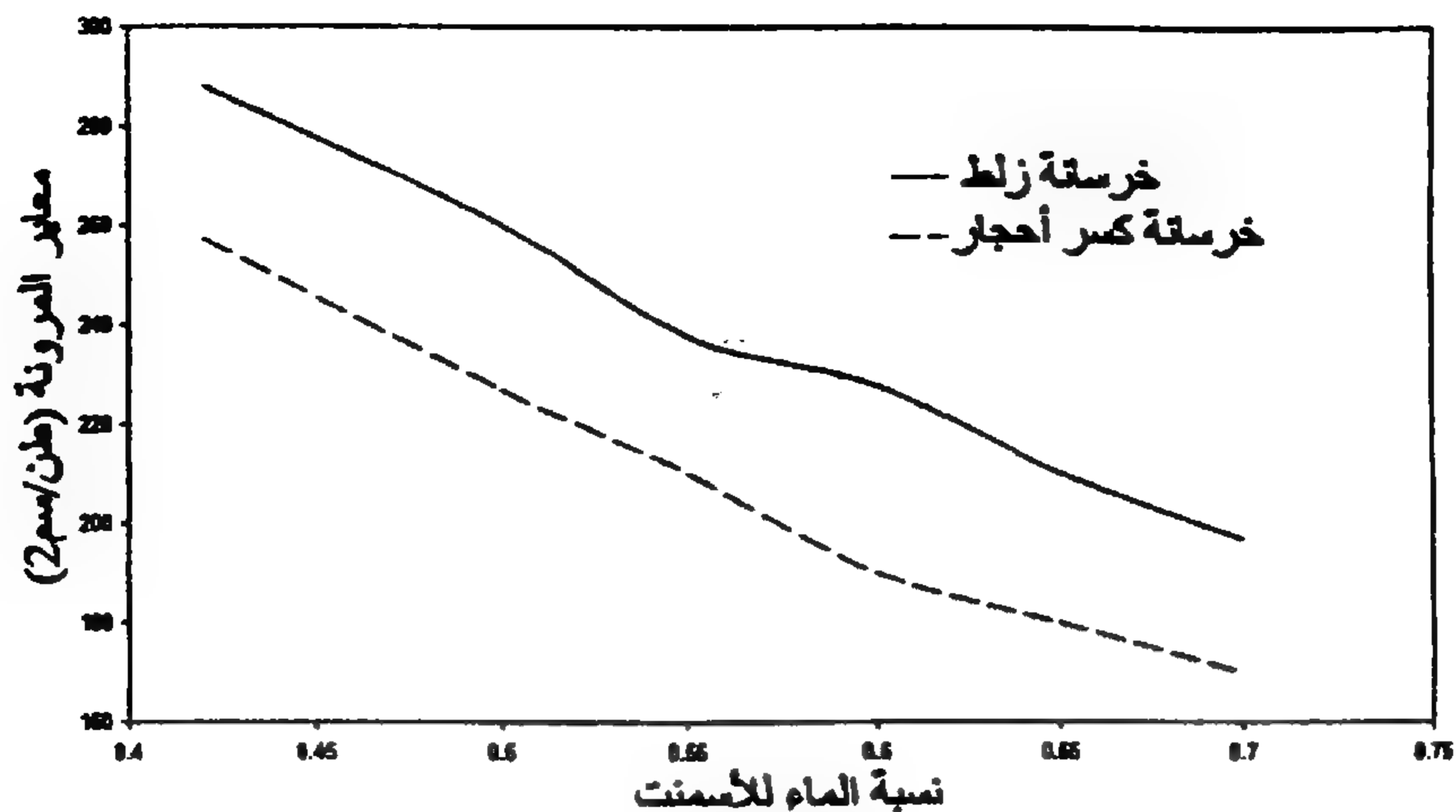
W = وزن العينة بالجم.

m = تردد العينة بالدورة/ثانية.

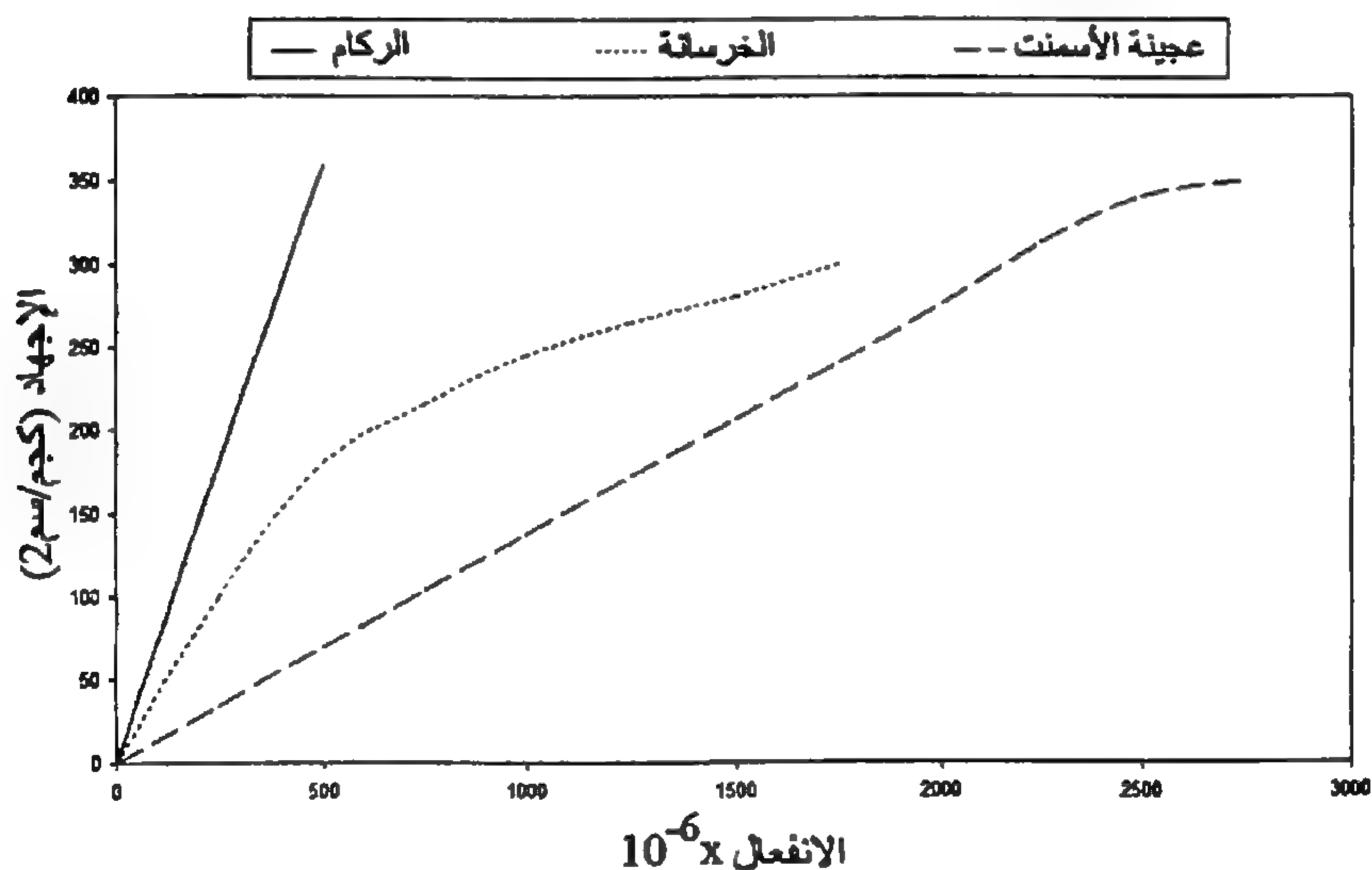
ويلاحظ أن معايير المرونة الديناميكية قريب في قيمته من معايير التماس الأولى. وقد أثبتت الأبحاث أن معايير المرونة الديناميكية أكبر من معايير المرونة القاطع والوتر بحوالي 20-30%. ويقل هذا الفرق مع زيادة مقاومة الخرسانة للضغط. ويستخدم معايير المرونة الديناميكية للحكم على تحميلية الخرسانة في الظروف الكيميائية والجوية السيئة. كما يفيد في الحسابات الديناميكية للمنشآت.

#### 4-2-9 العوامل المؤثرة على معايير المرونة :

عموماً وجد أنه كلما زادت مقاومة ضغط الخرسانة تحسنت قيم معايير المرونة. وبالتالي فإن العوامل المؤثرة على مقاومة ضغط الخرسانة تؤثر على ذلك المعايير. فكلما نقصت نسبة الماء إلى الأسمنت وزاد عمر الخرسانة وزاد غنى الخرسانة، تحسنت قيم معايير المرونة. وقد لوحظ أن معايير المرونة يتأثر تأثيراً كبيراً بنوع الركام الكبير ونسبته في الخلطة. وشكل (5-9) يوضح تأثير نوع الركام. والذي يتضح منه أن خرسانة الحجر الجيري تحقق معايير مرونة أقل من خرسانة الزلط. وأثبتت الأبحاث أنه بزيادة نسبة ركام الخرسانة الكبير يتحسن معايير مرونة الخرسانة، وذلك نظراً لقلّة معايير مرونة الخرسانة لعجينة الأسمنت بالنسبة للركام، شكل (6-9).



شكل (5-9) تأثير نوع الركام ونسبة الماء إلى الأسمنت على معايير المرونة



شكل (6-9) العلاقة بين الإجهاد والانفعال للركام والخرسانة وعجينة الأسمنت

وقد لوحظ أن معايير مرونة العينات المختبرة وهي رطبة تحقق معايير مرونة أعلى من العينات المختبرة وهي جافة. وقد تبين أن معايير مرونة الخرسانة الخفيفة حوالي 40-80% من معايير مرونة الخرسانة عادية الوزن.

#### 5-2-9 حساب قيم معايير المرونة نظرياً :

أثبتت الأبحاث أنه يمكن التعبير عن معايير مرونة الخرسانة كدالة من مقاومة ضغط الخرسانة. ويمكن استخدام المعادلات الآتية التي ينص عليها الكود الأمريكي (ACI) في الضغط ( $F_{cy}$ ). لحساب معايير المرونة بالجيجا باسكال (يساوي 0.1 طن/سم²) كدالة من مقاومة الاسطوانة بالميجا باسكال لخرسانة وحدة وزنها 2.45 طن/م³.

$$E_c = 4.73(F_{cy})^{0.5} \quad \dots\dots\dots (1-9)$$

وأوصى كذلك باستخدام المعادلة التالية كدالة من وحدة وزن الخرسانة  $\gamma$  طن/م<sup>3</sup>.  
 علماً بأن وحدات معايير المرونة طن/سم<sup>2</sup> ومقاومة الاسطوانة كجم/سم<sup>2</sup>.

$$E_c = 4.3\gamma^{1.5}(F_{cy})^{0.5} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

ويوصى الكود المصرى للخرسانة باستخدام المعادلة التالية لحساب معايير المرونة بال  
 (نيوتن/مم<sup>2</sup>) كدالة من مقاومة ضغط الخرسانة للمكعب بال(نيوتن/مم<sup>2</sup>).

$$E_c = 4400\sqrt{F_{cm}} \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

نسبة بواسون:

تتراوح نسبة بواسون للخرسانة بين 0.15، 0.20.

### 3-9 انكماش الخرسانة (Shrinkage of Concrete):

والمقصود بالانكماش هو انفعال التقلص الناتج من فقد ماء الخرسانة. ويمكن حصر الأنواع المختلفة في الانكماش كما يلي:

1. الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage).
2. انكماش الجفاف (Drying Shrinkage).
3. الانكماش الذاتى (Autogenous Shrinkage).
4. انكماش الكربنة (Carbonation Shrinkage).

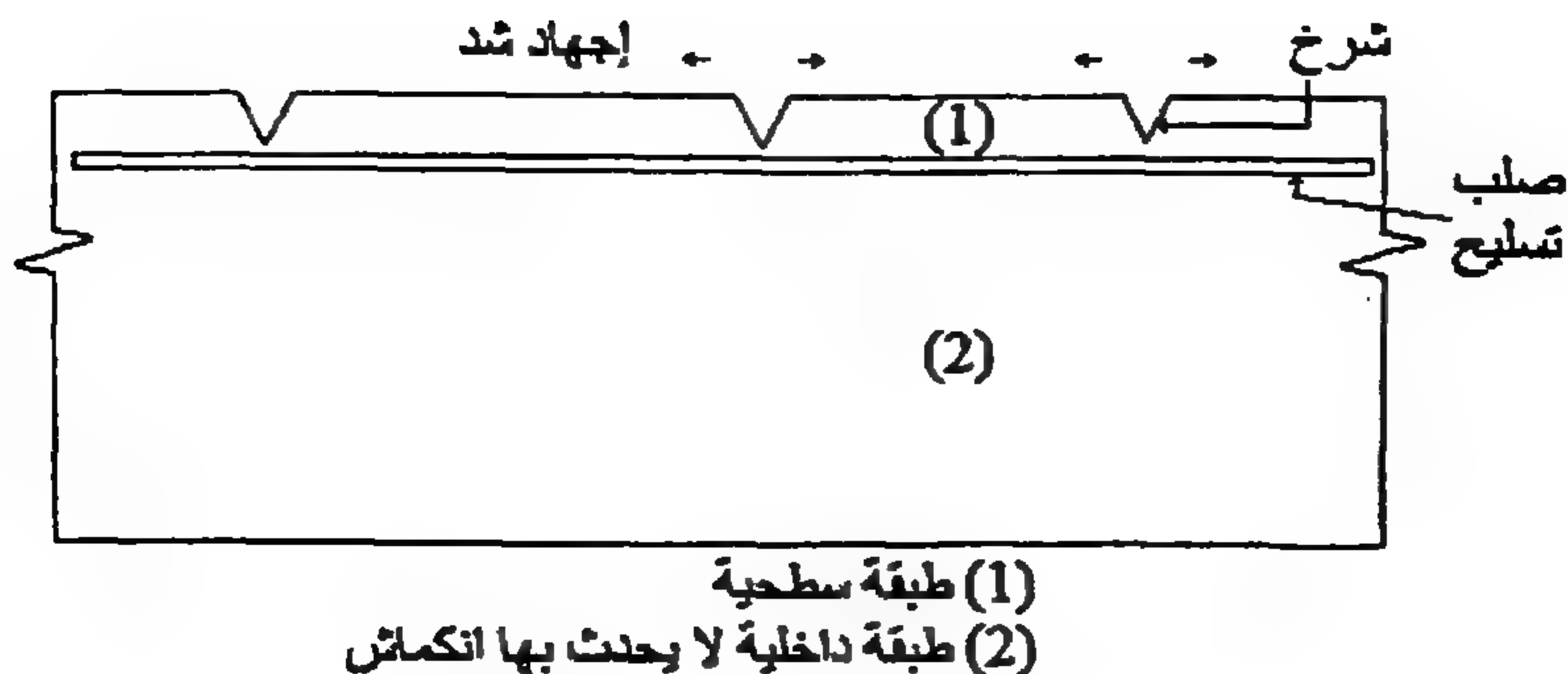
ويعرف الانكماش اللدن بأنه هو الانكماش الذى يحدث فى المراحل الأولى بعد صب الخرسانة مباشرة وينتج من فقد الماء من الطبقات العلوية التى تتعرض للحرارة والرطوبة والرياح. و الانكماش الذاتى هو الانكماش الذى يحدث فى الخرسانة رغم منع ماء الخلط من الخروج من الخرسانة ويحدث نتيجة فقد ماء الخلط نظراً لحدوث إمالة للأسمنت ويظهر تأثيره أكثر فى الخرسانة ذات نسبة الماء للأسمنت القليلة (نظرياً أقل من 0.42) وتأثير هذا الانفعال محدود إلا فى الخرسانة الكتلية. ويحدث انكماش الكربنة من اتحاد ثانى أكسيد الكربون مع هيدروكسيد الكالسيوم والذى يؤدي إلى خروج الماء إلى خارج الخرسانة وقد سبق دراسة خاصية الكربنة فى باب التحميل. وانكماش الجفاف يحدث فى الخرسانة المتصلدة. ويمثل أول نوعان أهمية خاصة للمنشآت ولذلك سيتم دراستهما بالتفصيل.

#### 1-3-9 الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage):

ويحدث الانكماش اللدن فى الخرسانة قبل تصلبها. والسبب الرئيسى هو تعرض الخرسانة لعوامل الجو من حرارة مرتفعة ورطوبة منخفضة ورياح سريعة، مما يعرض سطح الخرسانة الخارجى لفقد سريع فى ماء الخلط، وهذا يعرض سطح الخرسانة لانكماش سريع والخرسانة فى مراحل شكها الأولى، مما قد يولد بها شروخ سطحية كما هو مبين بشكل (7-9). ناتجه من تقييد الطبقة السفلية، التى لا تتعرض للانكماش، وكذلك التقييد الناتج من صلب التسليح لانكماش الطبقة العلوية

وعموماً فإنه يمكن للمهندس تقليل آثار الانكماش عن طريق:

1. المحافظة على عدم فقد ماء الخلط مبكراً وذلك عن طريق المعالجة المبكرة.

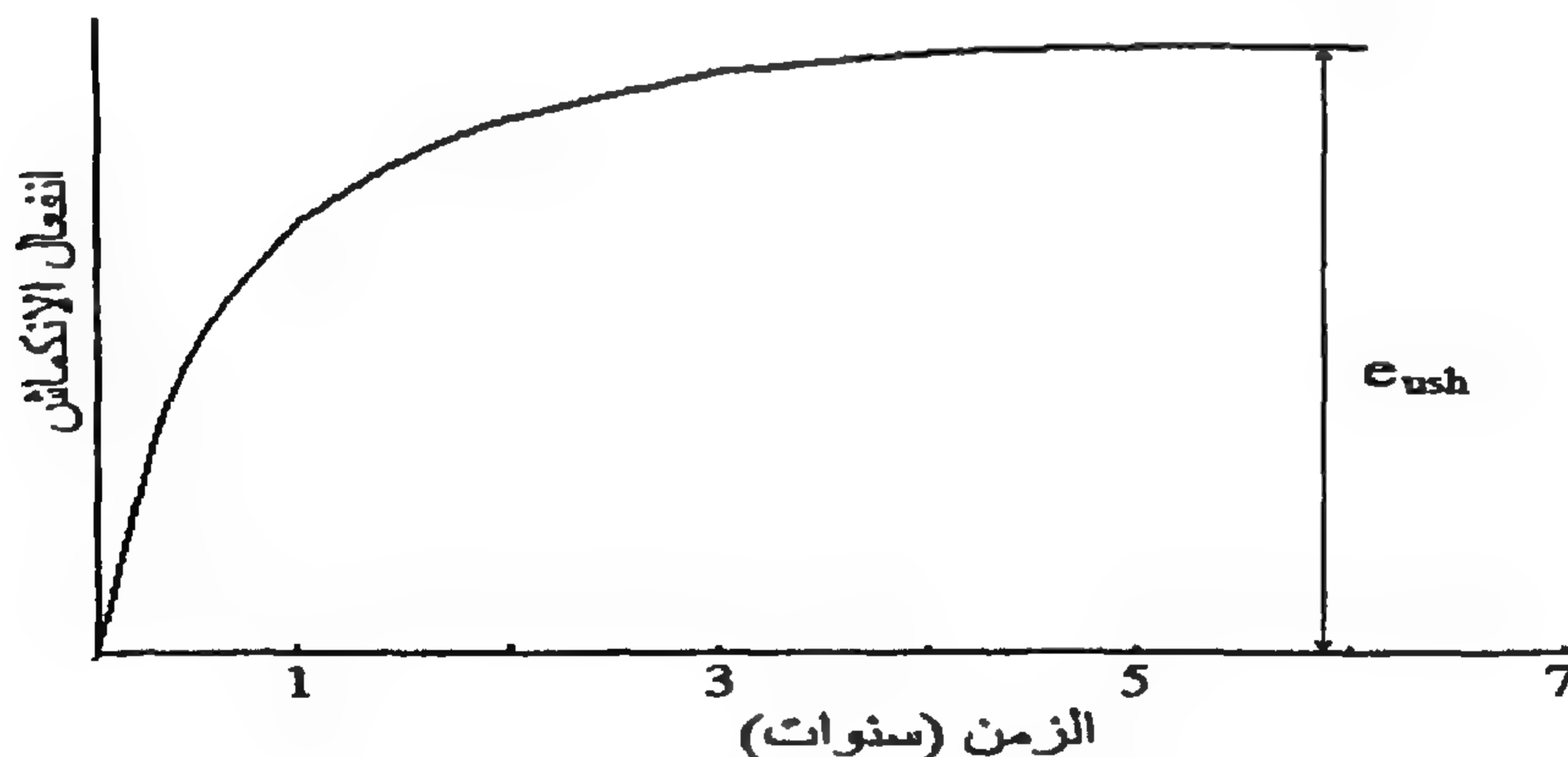


شكل (7-9) الشروخ الناتجة من الانكماش اللدن

- 2- في الأجواء الحارة يتم إضافة ألياف بروبيلين بنسبة تتراوح بين 0.2 الى 3% في المائة من حجم الخرسانة .
- 3- يتم فرد أغشيه من النايلون على سطح الخرسانة بمجرد صبها .
- 4- أخذ الاحتياطات المذكورة في الصب في الأجواء الحارة المذكورة بباب صناعة الخرسانه

### 2-3-9 انكماش الجفاف (Drying Shrinkage):

بعد صب الأعضاء الخرسانية تتصلب الخرسانة وتبدأ في التعرض للعوامل الجوية من حرارة ورطوبة ورياح، فيبدأ ماء الخلط الداخلي في الخروج مع مرور الزمن، وتبدأ الخرسانة في الانكماش. وبدراسة الانكماش على منشور بأبعاد  $40 \times 10 \times 10$  سم، وتستخدم ACI 490 منشور بأبعاد مناسبة بحيث يكون طول القياس 250 مم و باستخدام جهاز الانكماش المزود بجهاز لقياس الإنضغاط دقته 0.002 مم، حيث يتم تحديد طول المنشور على فترات متعددة وحساب انفعال الانكماش عند أزمنة متعددة، ثم ترسم العلاقة بين الزمن وانفعال الانكماش، نحصل على منحنى مثل شكل (8-9).



شكل (8-9) علاقة تخطيطية بين الانكماش والزمن

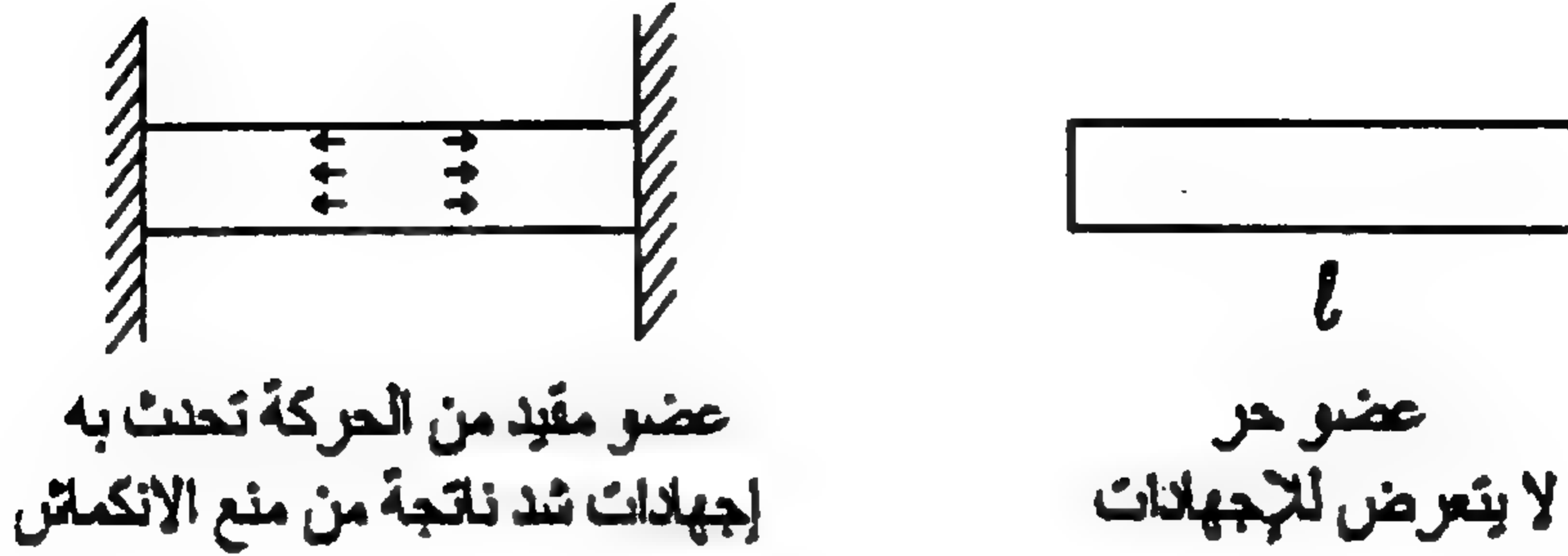
ويتضح من هذا المنحنى أنه بزيادة الزمن يزيد الانكماش، حتى نصل إلى الانكماش الحرج ( $e_{ush}$ ) الذي يحدث بعد عدة سنوات. ويلاحظ أن أكثر من 50% من الانكماش يحدث بعد سنة. ويمكن حساب انفعال الانكماش ( $e_{tsh}$ ) عند زمن  $t$  من المعادلة التالية بمعرفة  $e_{ush}$ :

$$e_{ish} = e_{ksh}(0.157Lnt - 0.112)$$

حيث  $t$  = الزمن بالأيام.

### 3-3-9 تأثير الانكماش :

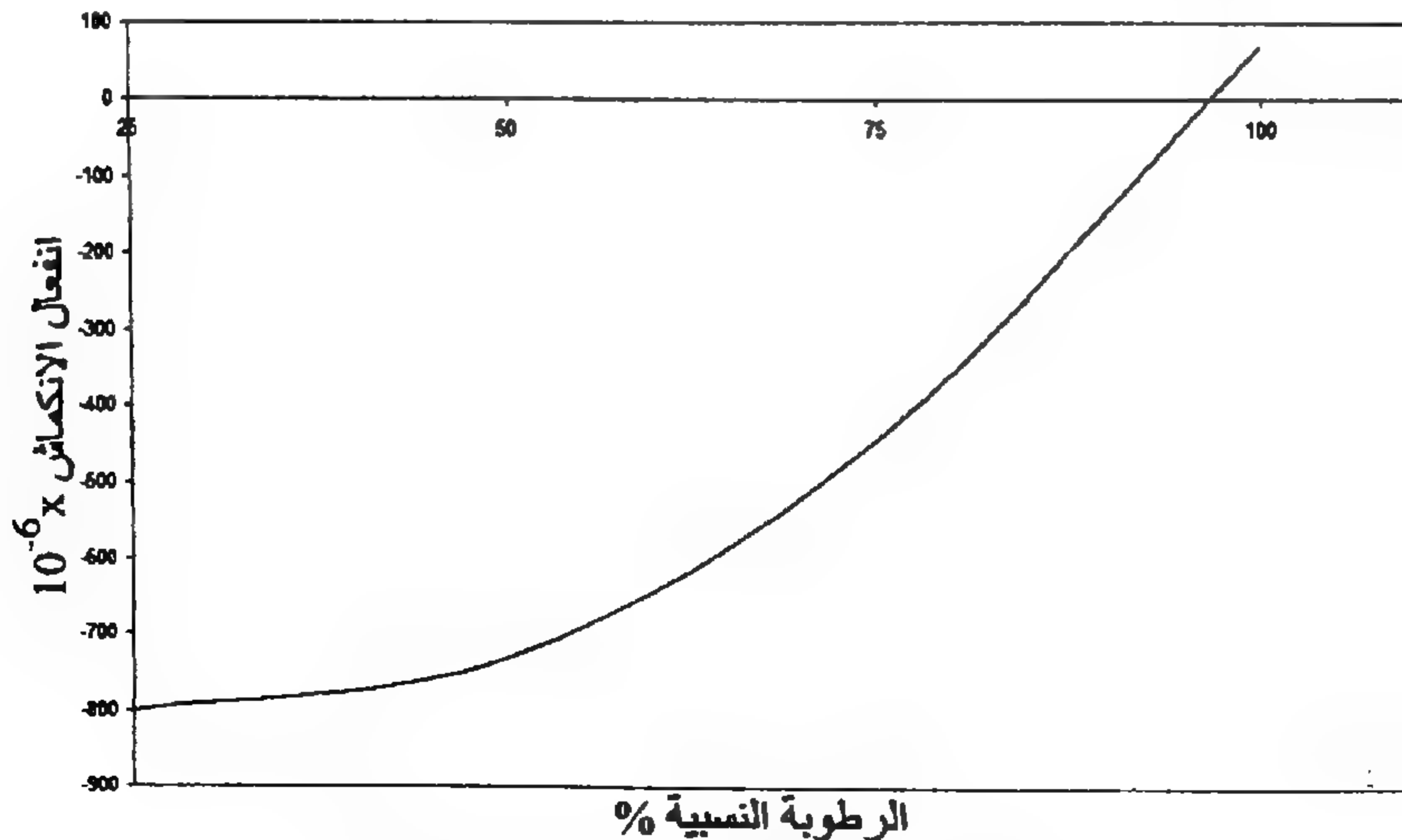
إذا كان العضو الخرساني حراً، فبأنه لن يتولد فيه أية إجهادات شكل (9-9). ولكن أغلب الأعضاء الخرسانية تكون مقيدة. وعلى ذلك عند تعرض العضو المقيد للانكماش تتولد إجهادات شد قد تحدث شروخاً في الأعضاء الخرسانية إذا أهملنا معالجة الخرسانة أو إذا لم تنفذ فواصل تمدد للمنشآت.



شكل (9-9) تأثير تقييد انكماش

### 4-3-9 العوامل المؤثرة على انكماش الجفاف:

1. محتوى ماء الخلط:  
أثبتت الأبحاث أنه كلما زاد محتوى الماء بالخلطة يزيد الانكماش، وسوف يتم إعطاء معادلة لحساب الانكماش الأقصى للخرسانة (الخرج) كدالة من محتوى الماء.
2. الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة :  
للرطوبة النسبية تأثير مهم، فكلما كان الجو جافاً يزيد الانكماش. ويتضح ذلك من شكل (10-9).



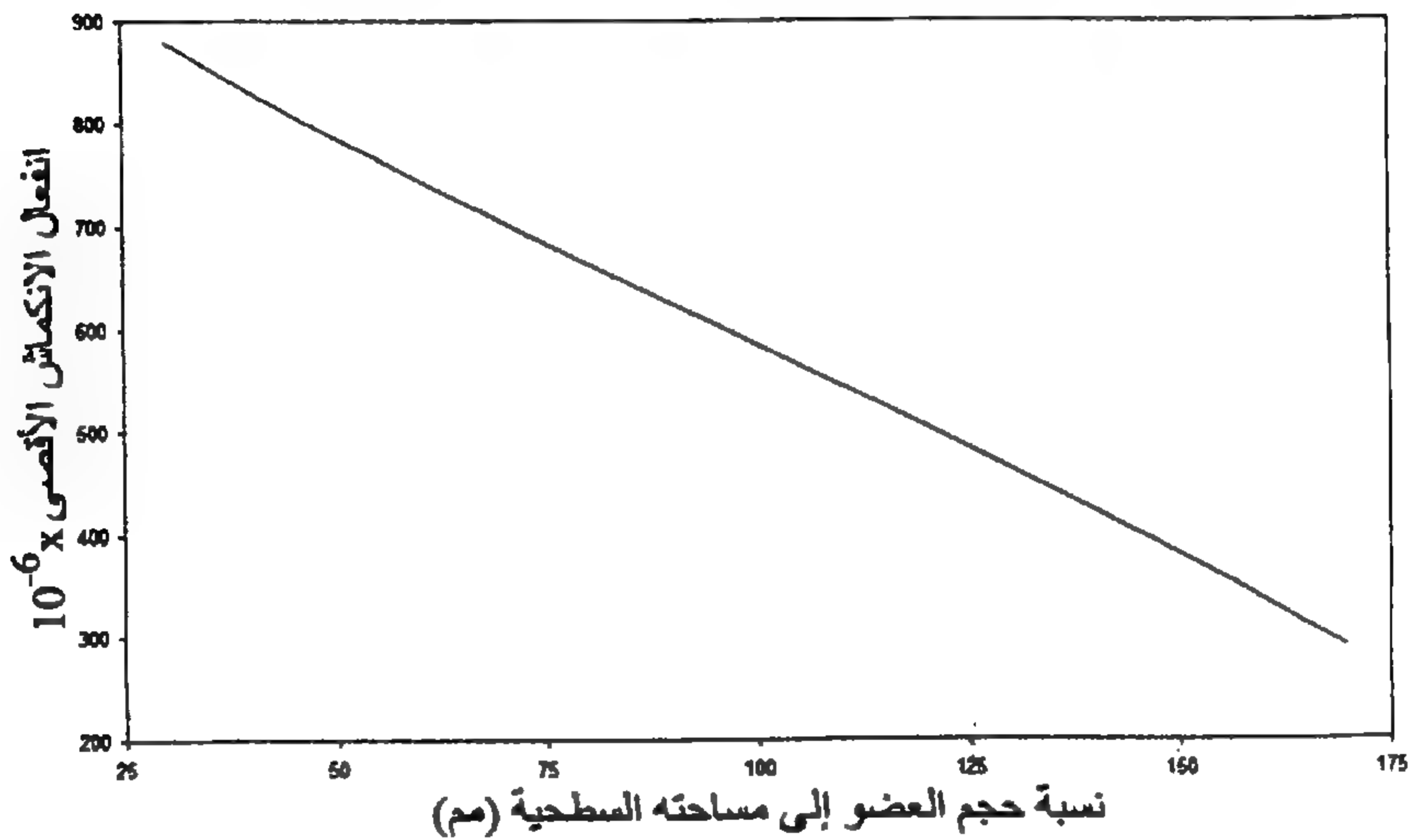
شكل (10-9) علاقة لتأثير R.H على الانكماش



وكلما كانت درجة الحرارة مرتفعة والرطوبة النسبية منخفضة، يزداد الانكماش كثيراً.

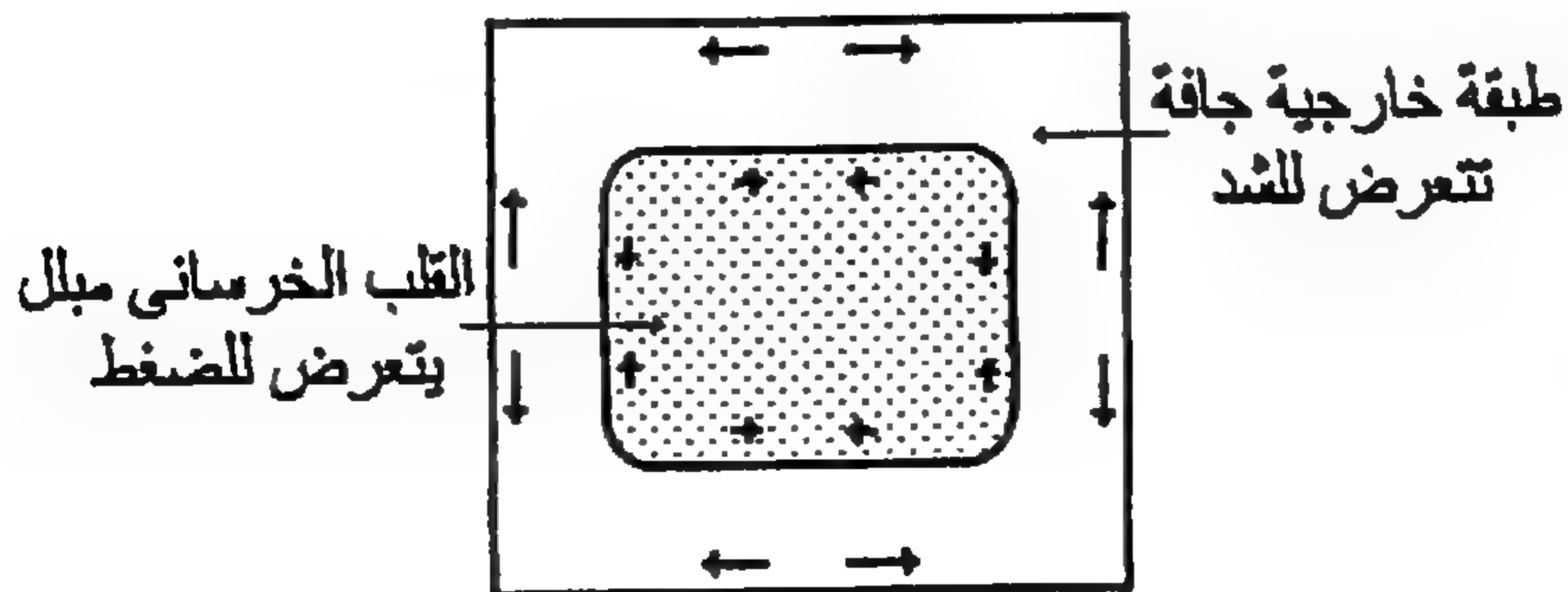
3. شكل العضو الخرساني:

أثبتت الأبحاث أنه كلما كان العضو الخرساني ذو مساحة سطحية كبيرة وسمك الخرسانة قليل، زاد الانكماش، وذلك لسهولة انتقال الماء بداخل العضو الخرساني إلى الجو. وأمكن التعبير عن ذلك بالنسبة بين حجم العضو الخرساني إلى مساحته السطحية. وشكل (9-11) يوضح تأثير هذا العامل، والذي يتضح منه أنه كلما زادت هذه النسبة يقل انكماش الخرسانة. ومن المهم لفت النظر إلى أن انكماش قطاع مستطيل أقل من انكماش قطاع على هيئة حرف T أو حرف I له نفس حجم القطاع المستطيل، ويعود ذلك إلى نقص مسار خروج الماء الداخلي.



شكل (9-11) تأثير نسبة حجم العضو إلى مساحته السطحية على الانكماش

وشكل (9-12) يوضح الإجهادات الناشئة في كتلة خرسانية كبيرة حيث تتعرض الطبقات السطحية للانكماش والطبقات الداخلية لا يحدث بها انكماش (قيد للطبقات الخارجية) وهذا يؤدي إلى ظهور إجهادات شد في خارج الكتلة مما قد يعرضها للتشريح، ولذلك يجب معالجة المنشآت الكتلية بعد الصب مباشرة ولأطول فترة ممكنة.



شكل (9-12) يوضح الإجهادات الناشئة في كتلة من الخرسانة تتعرض للانكماش

#### 4. الأسمنت:

كلما زاد محتوى الأسمنت يزيد الانكماش. لذلك يحدد الكود المصري للخرسانة المسلحة حد أقصى لاستخدام الأسمنت. وأثبتت الأبحاث أن الأسمنت سريع التصلب والأسمنت فائق النعومة يحقق انكماش أعلى من خرسانة الأسمنت البورتلاندى العادى.

#### 5. للركام:

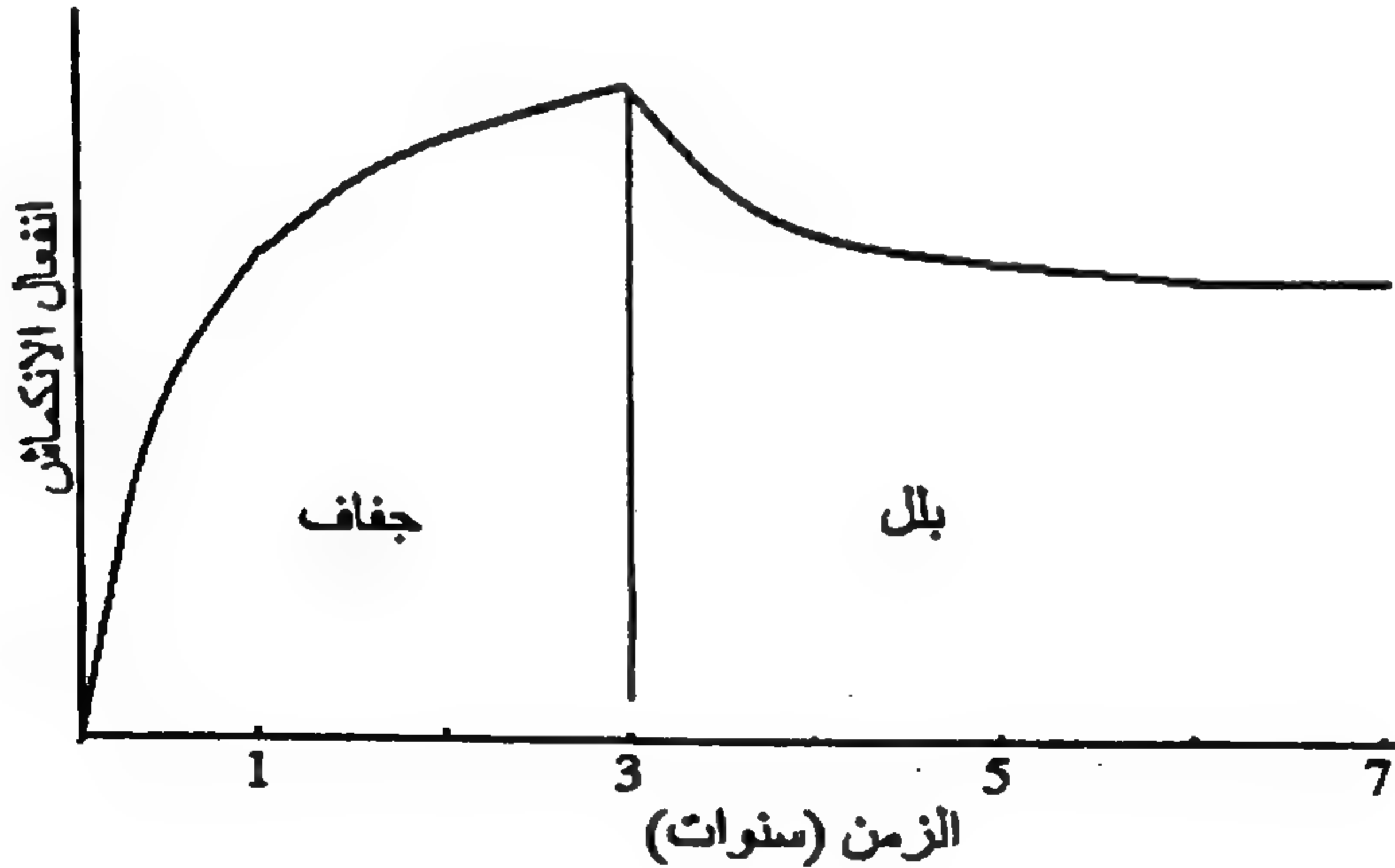
أثبتت الأبحاث أن الركام الصلب قليل الفراغات والامتصاص للماء يحقق انكماش أقل. وقد لوحظ أن غياب الركام يجعل الانكماش عالى للمونة الأسمنتية. كمثال، استخدام ركام بنسبة 44% من وزن الخرسانة يقلل الانكماش إلى 25% من قيمته للمونة الأسمنتية، حيث أن الركام يساعد على تقييد الانكماش الذى يمكن أن يحدث فى المونة الأسمنتية بالإضافة الى نقص محتوى الماء.

#### 6. نسبة صلب التسليح:

أثبتت الدراسات أن وجود صلب التسليح بالقطاع الخرسانى يقلل من انكماش الخرسانة، لأن معايير مرونة الحديد حوالي 10 أضعاف معايير مرونة الخرسانة. ولكن يجب الأخذ فى الاعتبار أنه يمثل تقييد لحركة الخرسانة مما يولد إجهادات شد فى الخرسانة وضغط فى حديد التسليح. ويجب الاهتمام بالمعالجة وخاصة فى خزانات الماء حتى لا تتعرض الخرسانة لإجهادات الشد مبكراً والخرسانة مقاومتها فى الشد صغيرة فى تلك الأعمار 0

#### 5-3-9 تمدد الخرسانة:

عندما تكتسب الخرسانة ماء خارجى، فإنه يحدث لها تمدد يعتمد تقريباً على نفس العوامل المؤثرة على الانكماش. وشكل (9-13) يوضح تأثير بلل الخرسانة على منحنى الانفعال مع الزمن.



شكل (9-13) تأثير البلل على منحنى الانكماش للخرسانة

### 6-3-9 طرق حساب الانكماش :

الطريقة الأولى (طريقة جيمس ليبي):

ويمكن حساب انفعال الانكماش الحرج من المعادلة الآتية التي وضعت لعضو خرساني موضوع في درجة رطوبة نسبية  $(R.H) = 50\%$ ، والنسبة بين حجم العضو الخرساني  $(V)$  إلى مساحة مقطعة  $(A) = 38$  مم.

$$e_{ush} = 200 + 4.8(1.7W - 220) \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (4-9)$$

حيث محتوى الماء بالكجم/م<sup>3</sup> خرسانة  $W$ .

وهذه المعادلة موضوعة لرطوبة نسبية قدرها 50%. ويمكن استخدام معامل تصحيح للرطوبة يضرب في المعادلة رقم (9 - 4) في معامل  $(Ch)$  لتأخذ تأثير درجات الرطوبة المختلفة، هذه القيمة تؤخذ من جدول رقم (9 - 1).

جدول (1-9) معامل الرطوبة  $(Ch)$

الرطوبة النسبية	20	40	50	60	80
$C_h$	1.6	1.2	1.0	0.8	0.4

ويجب تصحيح المعادلة السابقة لتتناسب نسبة الحجم إلى المساحة السطحية بالضرب في المعامل  $C_s$ ، جدول رقم (9-2)، حيث أن المعادلة موضوعة لنسبة حجم على مساحة تساوي 38 مم.

جدول (2-9) معامل تصحيح الحجم إلى المساحة السطحية  $(C_s)$

$V/A$ mm	13	25	38	51	100	152	178	203	229
$C_s$	1.13 0	1.10 0	1.00 0	0.92 0	0.78 0	0.71 0	0.58 0	0.53 5	0.5 0

$$e_{ush} \times C_h \times C_s = \text{وبذلك يكون الانكماش}$$

الطريقة الثانية (طريقة كود الخرسانة المصري رقم 203 لعام 2007):

استخدم الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية طريقة مبسطة لحساب الانكماش وكان لمؤلف هذا الكتاب دور كبير في هذا وكذلك لحساب الزحف الذي سيتم ذكره لاحقاً.

قام الكود بوضع قيم تقريبية لإنفعال الانكماش الحرج كدالة من البعد الإعتباري للقطاع  $B$  بالمليمتر) ومن الرطوبة النسبية ولقد أعطيت القيم كما هو موضح في جدول رقم (9-3) ويقدر البعد الإعتباري للقطاع  $B$  على النحو التالي:

$$B = \frac{2Ac}{Pc}$$

حيث  $Ac$  = مساحة مقطع العضو الخرساني (مم<sup>2</sup>).

و  $Pc$  = محيط المقطع الخرساني بالمم.

وتؤخذ القيم من جدول رقم (9-3) وتقسّم على 1000 ومما هو جدير بالذكر أن تلك القيم وضعت لخرسانة منشآت سابقة الإجهاد أي ذات مقاومة عالية (أكبر من أو يساوي 400

كجم/سم<sup>2</sup>) ولذلك عند استخدامه لخرسانة متوسطة أو ضعيفة المقاومة تضرب القيم المعطاة من الجدول في 1.30 .

جدول (3-9) قيم استرشادية لانفعال الإنكماش الجفاف النهائي ( $10^{-3}$ )

حالة الجو			جو جاف * (رطوبة نسبية حوالى 55 %)			جو رطب * (رطوبة نسبية حوالى 75 %)		
العمر الذى بدأ بعده الإنكماش			البعد الإعتبارى للقطاع B مم			البعد الإعتبارى للقطاع B مم		
B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من أو تساوى 200	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من أو تساوى 200	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من 600 وأكبر من 200	B أقل من أو تساوى 200
0.31	0.38	0.43	0.21	0.23	0.26	0.21	0.23	0.26
0.30	0.31	0.32	0.21	0.22	0.23	0.21	0.22	0.23
0.28	0.25	0.19	0.20	0.19	0.16	0.20	0.19	0.16

\* في حالة اختلاف الرطوبة النسبية عن القيم المعطاه يمكن استنتاج قيم انفعال الإنكماش بالنسبة والتناسب ولايفضل استخدام هذا الجدول الا فى حدود رطوبه نسبية بين 40 ، 85 %

#### مثال (1):

كوبرى بحره 80 متر ومقطعه كما فى شكل (9-14) انشأ فى منطقة رطوبتها النسبية 60 % ومقاومة الضغط للمكعب = 400 كجم /سم<sup>2</sup> ومحتوى الماء للخلطة = 170 كجم/م<sup>3</sup> المطلوب حساب انفعال الإنكماش بعد سنة اذا علم ان مدة المعالجة 7 ايام 0 استخدم الطريقتين السابقتين الحل:

طريقة جيمس لىبى .

بالتطبيق فى المعادلة رقم (9-2) يتضح ان

$$e_{ush} = 200 + 4.8(1.7 * 170 - 220) \times 10^{-6}$$

$$611 * 10^{-6}$$

$$Ac = 2.70 \times 10^{-6} \text{ م}^2 = \text{مساحة المقطع}$$

$$80000 \times \text{مساحة المقطع} = \text{الحجم}$$

$$100 \times 19.2 \text{ م}^3 = \text{المحيط (Pc)}$$

$$80000 \times \text{المحيط} = \text{المساحة السطحية}$$

$$140 = 310 \times 19.2 / 610 \times 2.7 = \frac{V}{A}$$

من جدول (9-1) ، (9-2) يكون  $Ch = 0.80$  ،  $Cs = 0.72$

$$e_{ush} = 611 * 0.8 * 0.72 = 352 * 10^{-6}$$

طريقة الكود .

$$B = \frac{2 * 2.7 * 10^{-6}}{19.2 * 103} = 281 \text{ mn}$$

$$e_{ush} = 380 * 10^{-6} \text{ لرطوبة } 55\%$$

$$e_{ush} = 230 * 10^{-6} \text{ لرطوبة } 75\%$$

$$e_{ush} = 340 * 10^{-6} \text{ لرطوبة } 60\%$$

ويلاحظ أن طريقة الكود أعطت نتيجة قريبه من الطريقه الدقيقه .

$$e_{sh} \text{ 1 year} / e_{ush} = 0.157(\ln 365 - 0.1151) = 0.9 e_{ush}$$

$$e_{sh} \text{ 1 year} = 209 * 10^{-6}$$

مثال (2):

لنفس المسألة السابقة افترض أن مقاومة الضغط 200 كجم/سم<sup>2</sup> وأن محتوى الماء 220 كجم/م<sup>3</sup>.

$$e_{ush} = 936 * 10^{-6} \quad (\text{الطريقة الاولى})$$

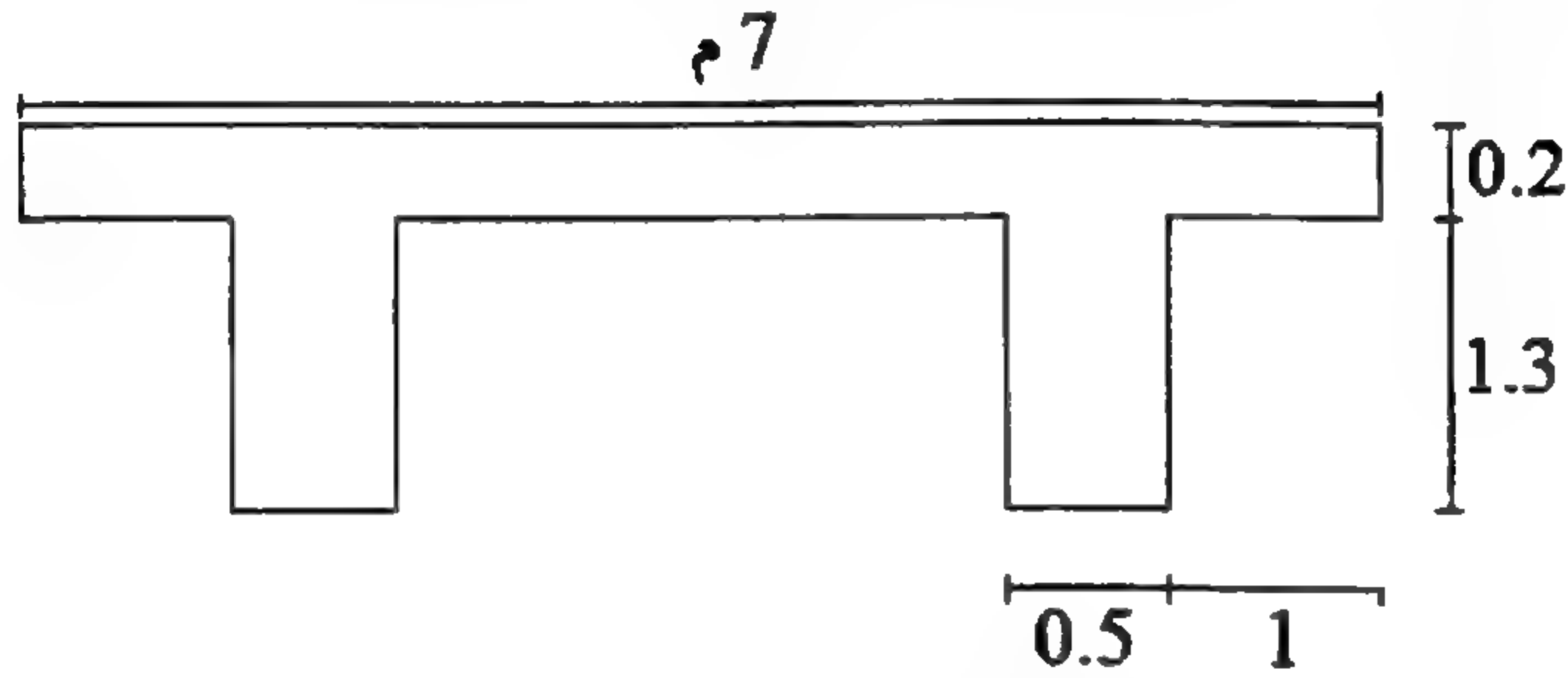
$$e_{ush} = 936 * 0.8 * 0.72 = 539.14 * 10^{-6}$$

(طريقة الكود)

بالنسبة للكود هذه خرسانه مقاومتها منخفضة .

$$e_{ush} = 340 * 1.3 = 442 * 10^{-6}$$

وهذا يوضح أن طريقة الكود تقريبيه في حالة الخرسانه منخفضة المقاومة



شكل (14-9) قطاع في الكوبرى الخرسانى

#### 4-9 زحف الخرسانة (Creep of Concrete):

1-4-9 عام

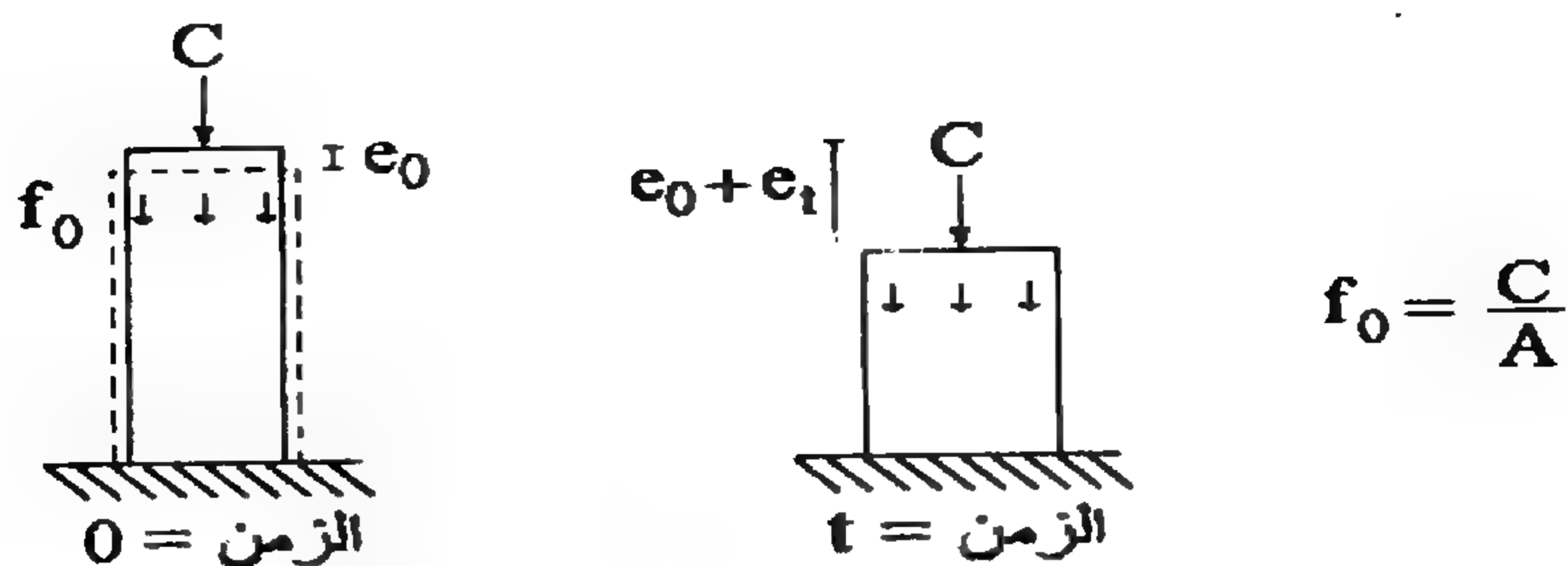
عند دراسة كمره خرسانية معرضة لحمل مركز، كما فى شكل (9-15-ب)، سنجد أنه بمجرد وضع الحمل يحدث ترخيم. وبمرور الزمن  $t$ ، نجد أن الترخيم زاد. وبدراسة عضو معرض لحمل ضغط  $C$  يولد إجهاد أولى  $F_0$ ، فإنه يحدث انفعال لحظى  $e_0$ ، شكل (9-15-أ). وبتسجيل الانفعال خلال أزمنة لاحقة مع ثبات الحمل، نجد أن الانفعال يزيد مع الزمن. وبرسم الانفعال المسجل مع الزمن، نحصل على علاقة شبيهة بالشكل (9-15-ج). ويلاحظ أنه بعد فترة قد تصل إلى 3 سنوات، نصل إلى قيمة حرجة للانفعال. ويلاحظ أن الانفعال المعتمد على الزمن يطلق عليه الزحف. ويمكن حساب انفعال الزحف الحرج ( $e_{cu}$ ) من العلاقة التالية:

$$\frac{e_{cu}}{e_0} = \phi$$

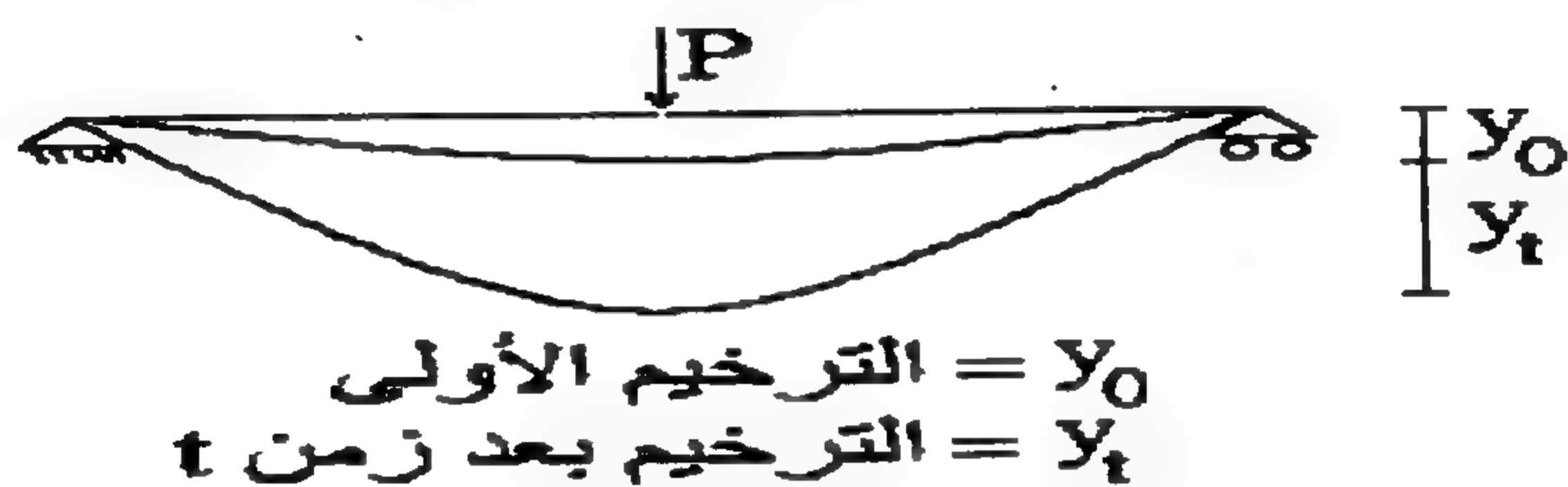
حيث  $e_0$  = الانفعال اللحظى



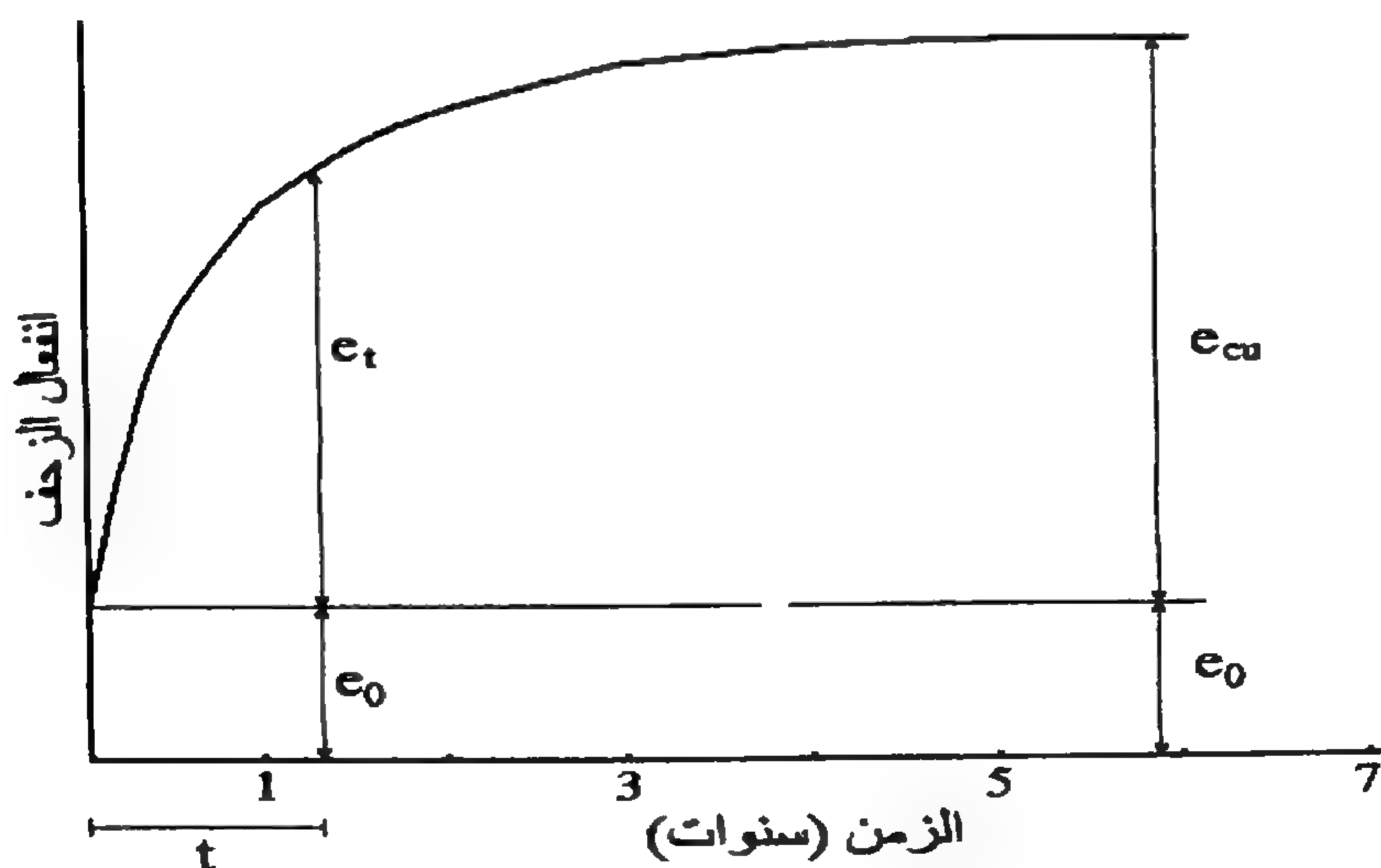
$\phi$  = نسبة الزحف (معامل الزحف) ، وقد تصل هذه النسبة إلى 4.00 ، وهذه النسبة تحدد طبقاً لظروف التحميل الأولية والظروف الجوية المحيطة وخواص الخرسانة.



شكل (9-15-أ) ميكانيكا الزحف في الضغط



شكل (9-15-ب) ميكانيكا الزحف في الإنحناء



شكل (9-15-ج) العلاقة بين الإنفعال والزمن في الزحف

شكل (9-15) ميكانيكا الزحف

#### 2-4-9 أهمية دراسة الزحف:

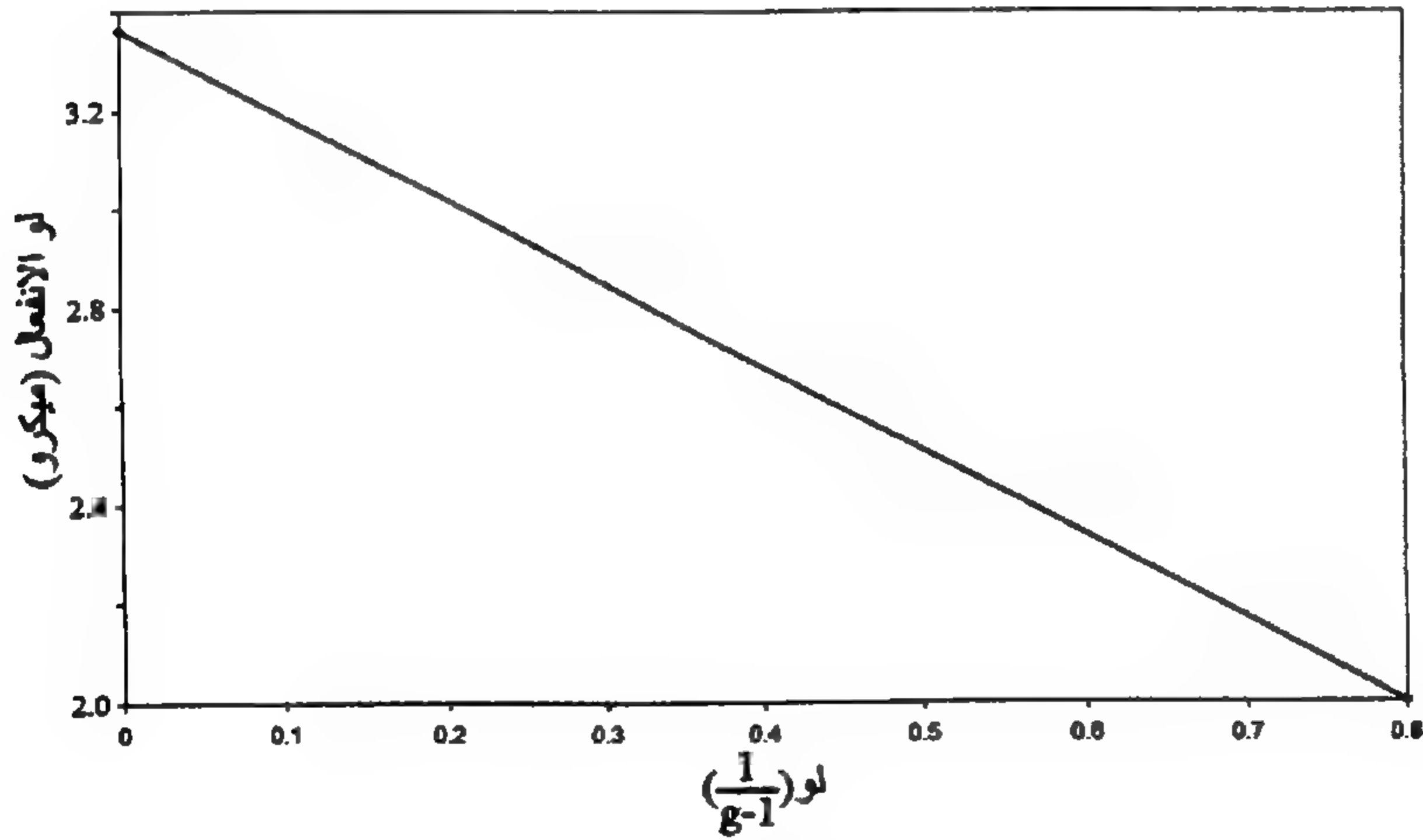
إن تحديد الزحف يساعد المهندس عند اعتباره على أن يحصل على أعضاء ذات تشكّل على المدى البعيد مسموح به. وذلك بحساب القطاع الذي يحقق ذلك. ويستفيد المهندس من حسابات الزحف في تصميم الخرسانة سابقة الإجهاد التي تفقد جزء من إجهاد الضغط المخزن بها نتيجة زحف الخرسانة.

#### 3-4-9 العوامل المؤثرة على الزحف :

إجمالاً يمكن القول أن العوامل المؤثرة على الإنكماش تؤثر بطريقة ما على الزحف وسنستعرض في مايلي أهم هذه العوامل .

##### 1 - محتوى الركام :

أثبتت الدراسات التي قام بها آدم نيفل أن عجينة الأسمنت تتعرض نتيجة الإجهاد الثابت مع الزمن لقدر صغير من الزحف وكلما زاد محتوى الركام في الخرسانة يزيد الزحف ولم يفسر نيفل تلك الظاهرة ويرى الكاتب أن العجينة بها نسبة عالية من C-S-H وهذه المادة بها ماء داخلي غير قابل للتشكل فتقلل الزحف بها . أما في وجود الركام فغالباً ما يعطى سطح الاتصال بين الركام وبين العجينة فرصة لتجميع وخروج الماء بنظرية الانتشار وشكل (9-16) يوضح أنه بزيادة حجم الركام يزيد انفعال الزحف .



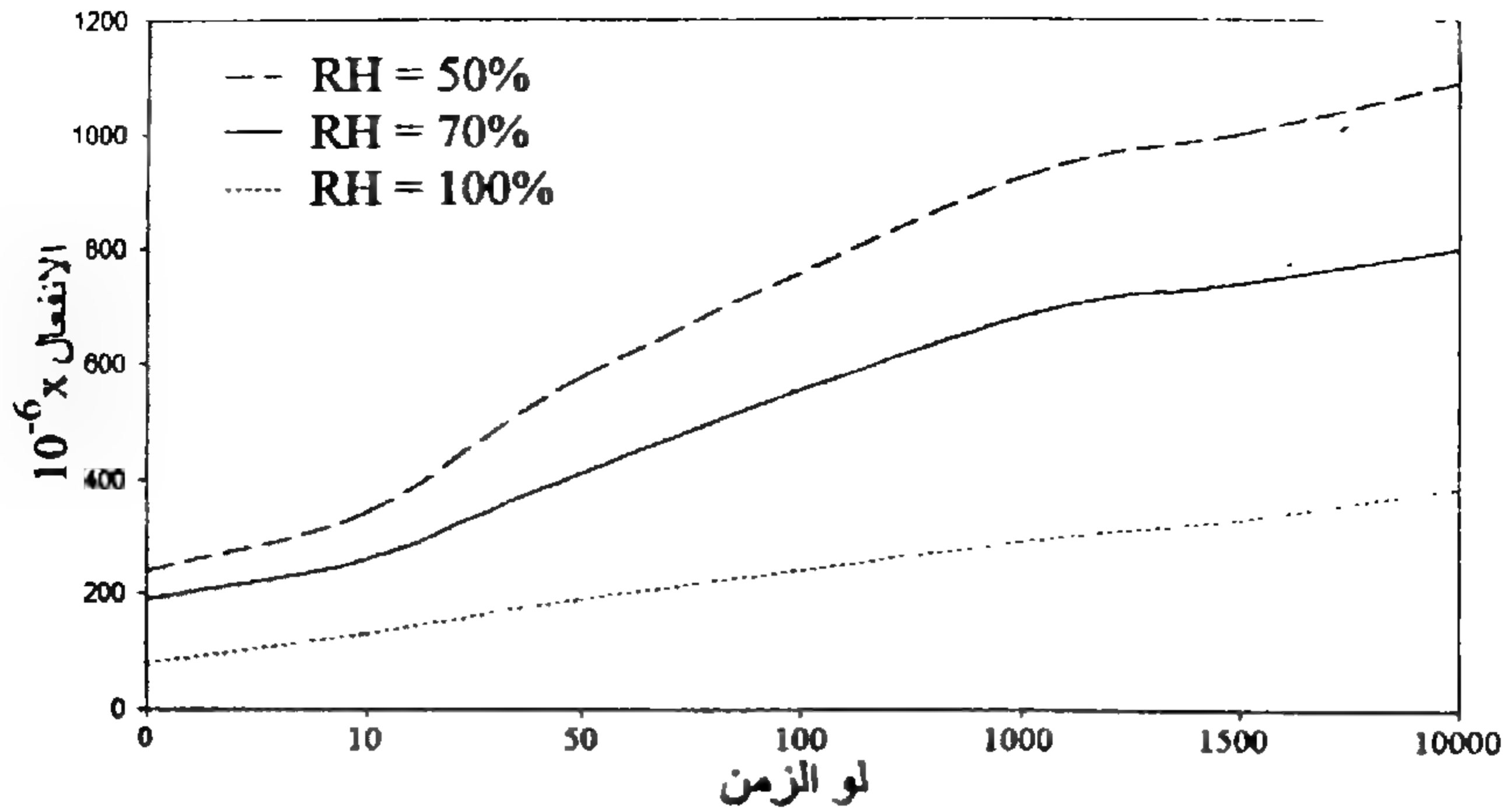
شكل (9-16) تأثير نسبة حجم الركام بالنسبة لحجم الخرسانة (g) على انفعال الزحف الحرج

##### 2 - نوع الركام :

أثبتت الدراسات أن خرسانة كسر الأحجار الرملية أعطت أعلى قيم للزحف ولذلك لا يفضل استخدامها في الخرسانة وقد أوضحت الدراسات أن زحف الأحجار الجيرية أقل من زحف خرسانة الزلط والبازلت .

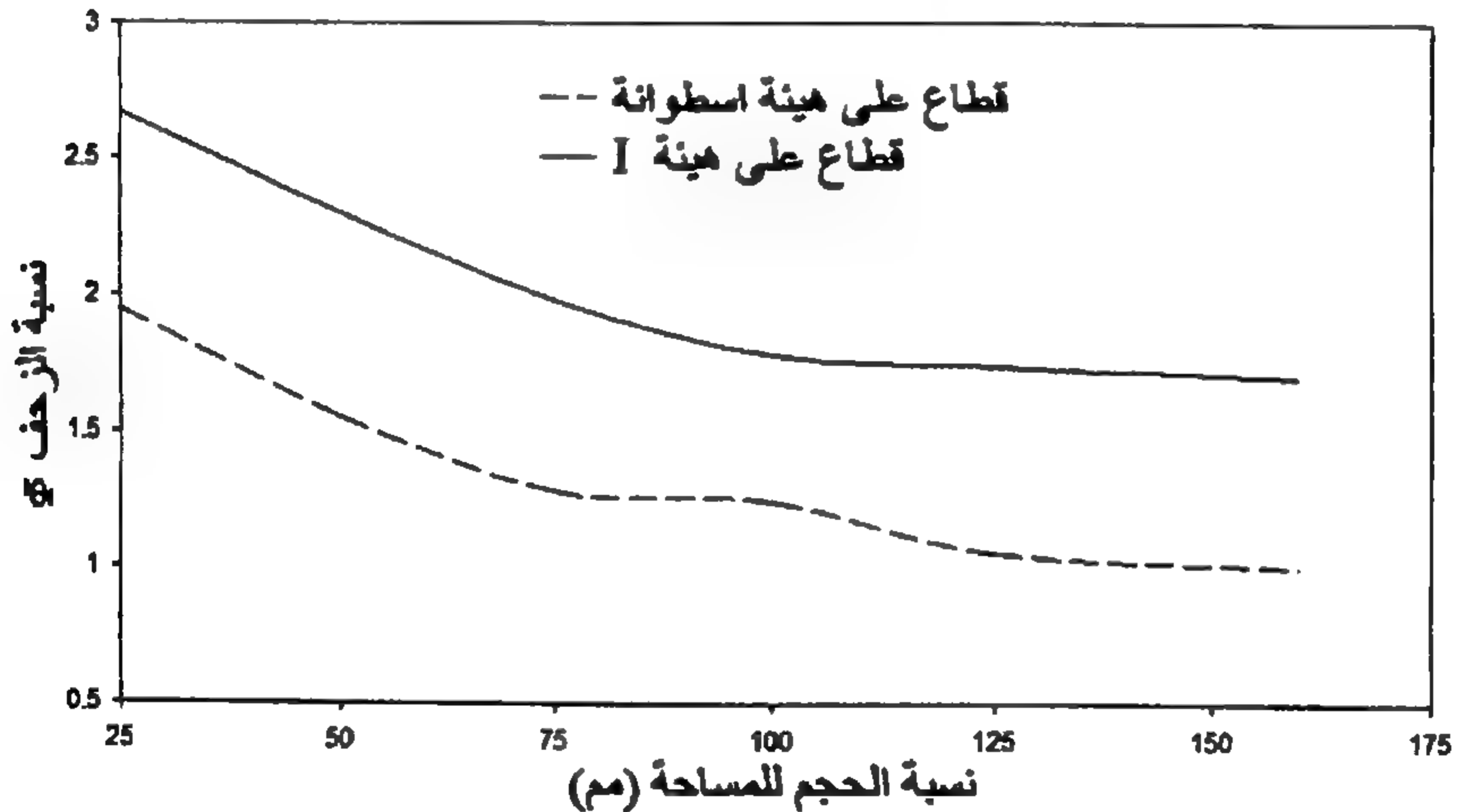
##### 3 - الرطوبة النسبية .

كلما زادت الرطوبة النسبية يقل انفعال الزحف الحرج كما هو واضح من شكل رقم (9-17) ومن المهم ملاحظة أنه عند رطوبة نسبية قدرها 100% فإن الزحف لا يتعدى ولكن يكون بقيمه صغيره وهذا يؤكد أن الزحف ينتج من التضاعط الحادث بين وفي مكونات الخرسانة .



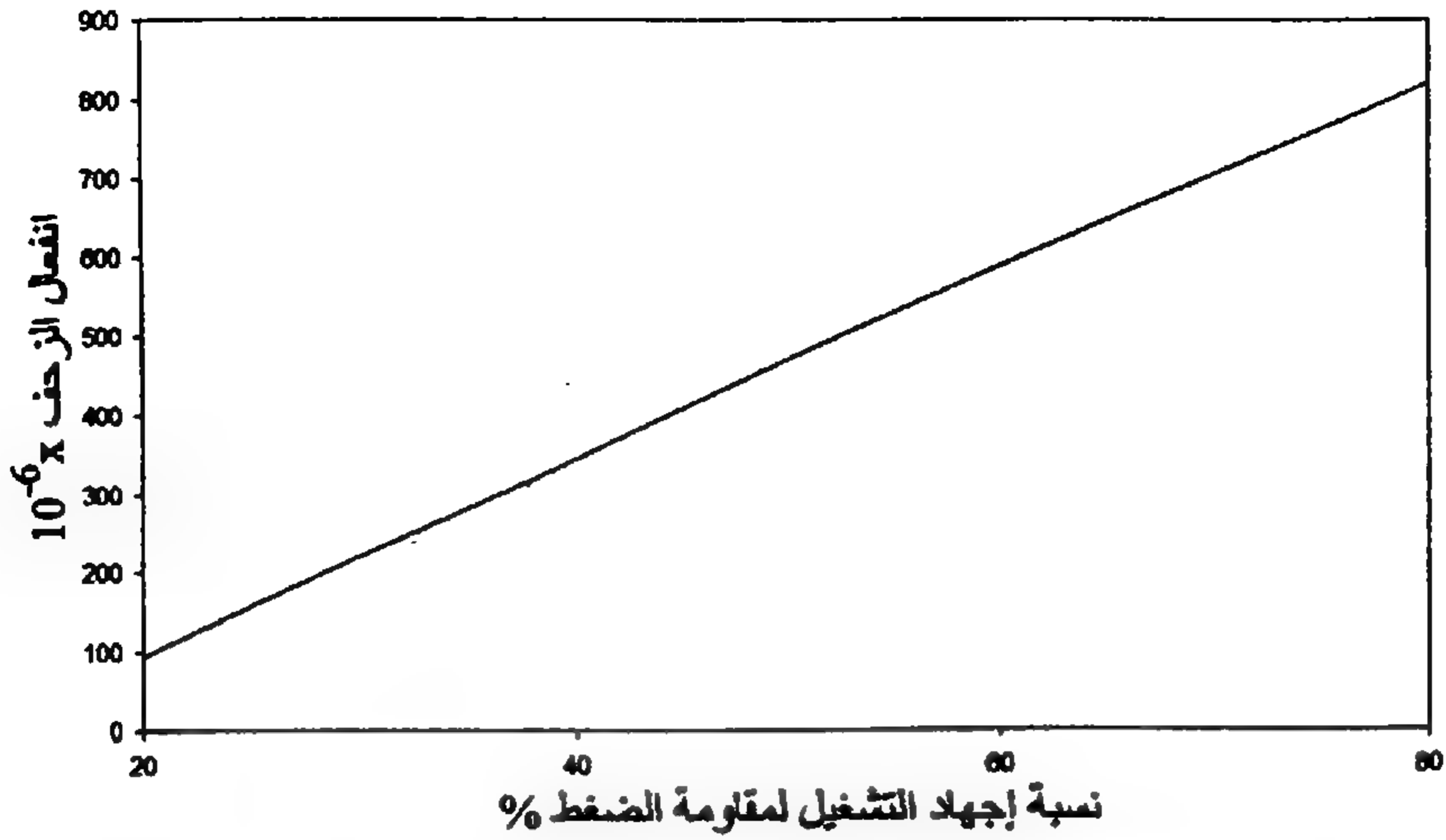
شكل (17-9) تأثير الرطوبة النسبية على الإنفعال الحرج للزحف

3 - شكل العضو (نسبة الحجم للمساحة السطحية  $V/A$ )  
 شكل (18-9) يوضح أنه كلما زادت نسبة  $V/A$  يقل الزحف ويلاحظ أنه لنفس نسبة  $V/A$  فان زحف العينات على هيئة حرف I أكبر من زحف العينات الأسطوانية .



شكل (18-9) تأثير نسبة الحجم للمساحة على نسبة الزحف على مقاطعات بأشكال مختلفة

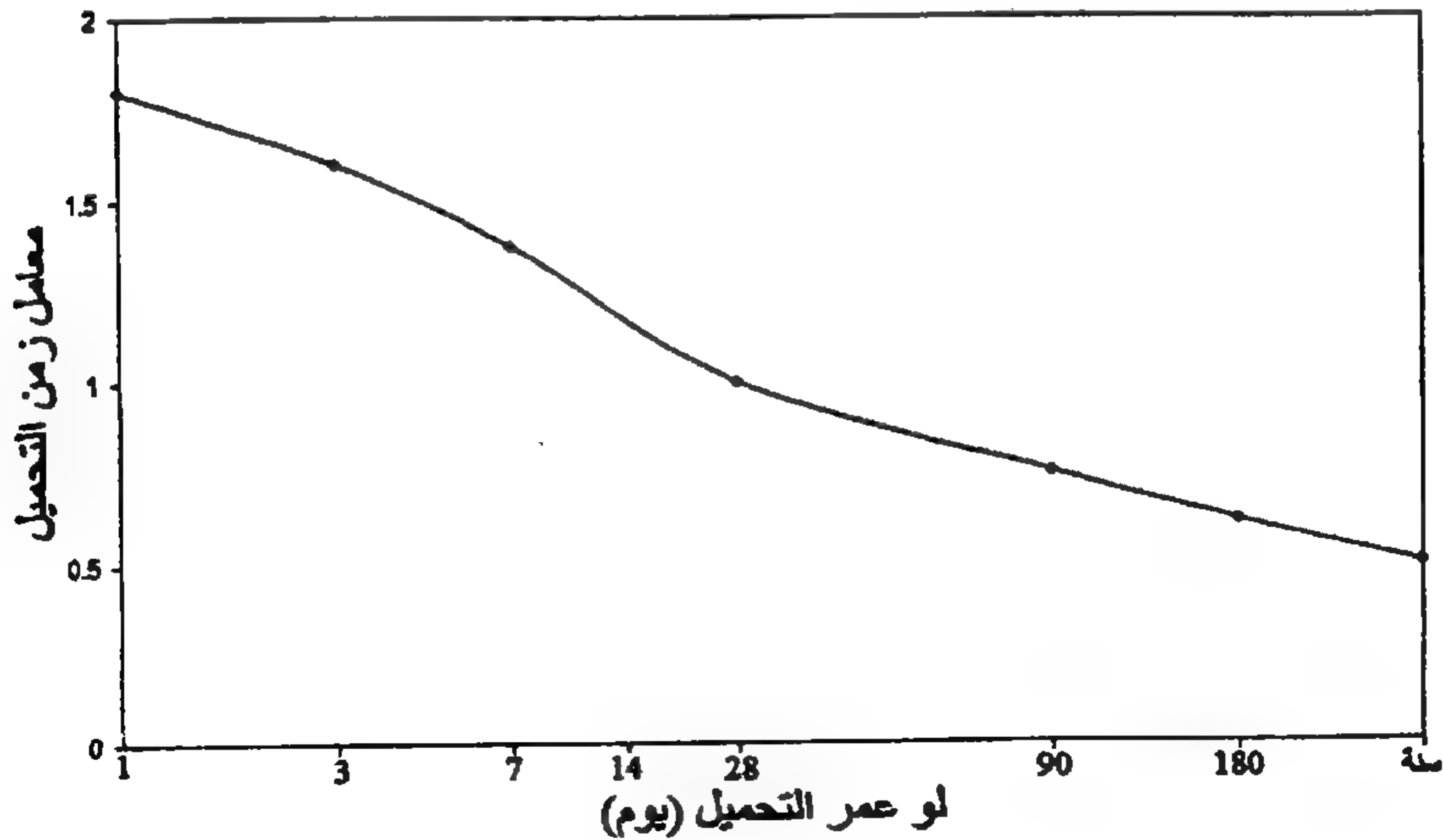
4 - اجهاد التحميل بالنسبة لمقاومة الضغط .  
 أثبتت الدراسات أن هذا العامل مهم جداً وقد وجد أنه كلما زاد اجهاد التحميل الأولى بالنسبة للمقاومة يزيد الزحف كثيراً لأنه سوف يزيد الإنفعال الابتدائي وشكل (19-9) يوضح أن هناك تناسب بين نسبة الإجهاد الى المقاومة والزحف ولذلك فان الإنفعال الأولى معبر جيد عن هذه النسبة .



شكل (9-19) تأثير نسبة إجهاد التشغيل لمقاومة الضغط على انفعال الزحف الحرج

5- زمن تحميل المنشأ Creep maturity coefficient  
 أثبتت الدراسات والأبحاث أن تحميل الخرسانة في عمر مبكر عن عمر 28 يوم يؤدي الى زيادة الزحف وشكل (9-20) يوضح تأثير زمن التحميل بالنسبة لعمر 28 يوم على زحف الخرسانة ومن هذا الشكل يتضح أن التحميل المتأخر يقلل الزحف لأنه يعطى فرصة لتكون C-S-H وحالياً أمكن استخدام أسمنتات ناعمة وإضافات تعجل من المقاومة المبكرة ولذلك يفضل التعبير عن تأثير المقاومة عند زمن التحميل ( $f_{cut}$ ) ومقاومة الضغط  $f_{cu}$  عند 28 يوم بمعامل التحميل ( $M_{mt}$  Creep maturity coefficient) ويحسب باستخدام المعادلة التالية :

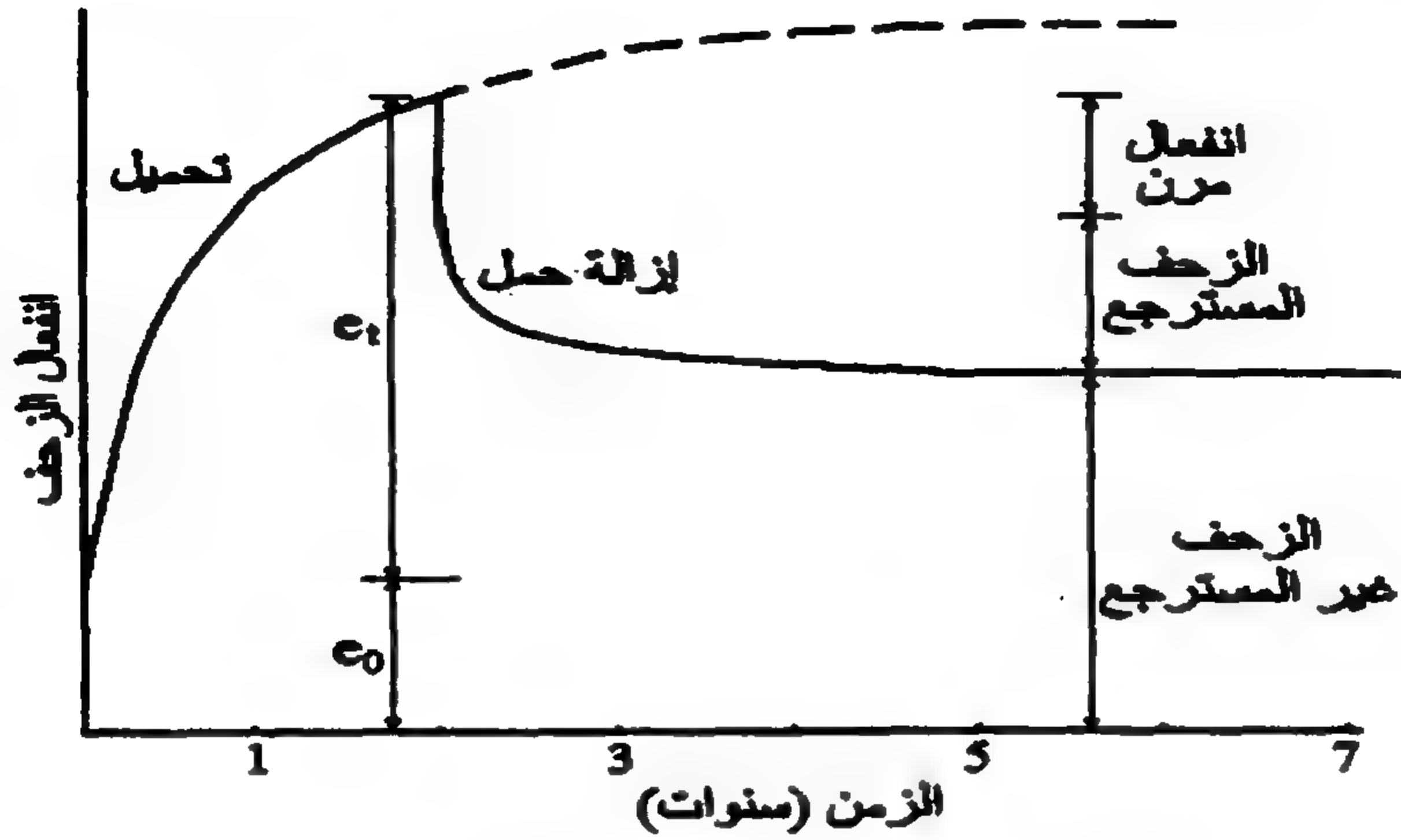
$$M_{mt} = 1.8 - 1.8(f_{cut} / f_{cu} 28 - 0.375) \quad \dots\dots\dots (5-9)$$



شكل (9-20) العلاقة بين العمر الذي يبدأ عنده التحميل ومعامل زمن التحميل

#### 4-4-9 تأثير إزالة الحمل على الزحف:

لوحظ كما بشكل (9-21) أنه عند إزالة الحمل، أن جزء من انفعال الزحف يتم استرجاعه ، والآخر يظل غير مسترجع. ويتوقف ذلك على مستوى الإجهاد الواقع على العضو وهذه الظاهرة مفيدة جداً لأنه يمكن إزالة عدد من طوابق مبنى معرض للإنهيار فيتحسن سلوك المبنى وتقل انفعالاته ويتم ترميمه وتدعيمه .



شكل (9-21) تأثير إزالة الحمل على الزحف

#### 5-4-9 طرق حساب الزحف .

سنعرض هنا طريقتين الأولى من المراجع القديمة والثانية من كود الخرسانة المصري .

##### 1 - الطريقة الأولى ( جيمس ليبى )

تقاس الرطوبة النسبية للموقع أو تؤخذ من الأرصاد الجوية على مدار عدة سنوات وان لم تكن موجوده يستخدم جدول (9-4) .

جدول رقم (9-4) قيم الرطوبة النسبية التقريبية .

ظروف الموقع	نسبة الرطوبة النسبية التقديرية %
في الماء	100
قريب جداً من كميه كبيرة جداً من الماء	90
قريب من الماء مثل وديان الأنهار ومنطقة الدلتا	70
الجو القريب من الجفاف	50
الجو الحار والمباني المغلقة التى تسخن فى الشتاء	35

تحدد نسبة الزحف  $\Phi$  من المعادلتين التاليتين للخرسانة عالية المقاومة :

$$\Phi = 1.25 + 2.75 ((100 - RH) / 65) \quad \text{..... (9-6)} \quad \text{(القصوى)}$$

$$\Phi = 0.75 + 0.75 ((100 - RH) / 50) \quad \text{..... (9-7)} \quad \text{(الدنيا)}$$



وتستخدم المعادلتين التاليتين في الخرسانة عادية المقاومة :

$$\Phi_{(8-9)} = 2.00 + 2.00 ((100 - RH) / 50) \quad \text{..... (8-9)}$$

$$\Phi_{(9-9)} = 1.00 + ((100 - RH) / 50) \quad \text{..... (9-9)}$$

تحدد معاملات تصحيح للمعادلات السابقة بحيث تناسب مقاس القطاع ( $C_s$ ) كما هو مذكور بالجدول التالي (5-9) ومعامل تصحيح معامل التحميل ( $M_{mt}$  معادلة 5-9) .

جدول (5-9) معامل تصحيح مقاس القطاع لنسبة حجم الى مساحة سطحية مختلفة ( $C_s$ ) .

250	229	203	178	152	127	102	76	51	25	V/Amm
1.00	1.01	1.03	1.06	1.1	1.14	1.2	1.3	1.44	1.7	$C_s$

تُحسب نسبة الزحف الحرجه  $\Phi_u$  من المعادلة التالية .

$$\Phi_u = \Phi * C_s * M_{mt}$$

## 2 - طريقة كود الخرسانة

يعطي الكود قيم استرشادية لنسبة الزحف كدالة من الرطوبة النسبية ومقاس القطاع (البعد الإعتباري) كما هو مذكور في بند الإنكماش وكدالة كذلك من العمر الذي يبدأ بعده التحميل وتلك القيم موضحة في جدول رقم (6-9) .

في حالة الأعضاء التي تتعرض الى قوة ضغط محورية تؤدي الى إجهاد نسبية بالنسبة الى مقاومة الخرسانة تزيد عن 0.33 فإنه يجب زيادة الزحف بمعامل  $\alpha$  معطى قيمة بجدول (7-9) بفرض وجود علاقة خطية بنسبة تحميل 0.33 و 0.50

جدول (6-9) قيم استرشادية لمعامل الزحف النهائي  $\Phi$

جو رطب * (رطوبة نسبية حوالى 75 %)			جو جاف * (رطوبة نسبية حوالى 55 %)			حالة الجو
البعد الإعتباري للقطاع B مم			البعد الإعتباري للقطاع B مم			العمر الذي بدأ بعده التحميل
B أقل من أو تساوى 200	B أكبر من 600 وأكبر من 200	B أكبر من أو تساوى 600	B أقل من أو تساوى 200	B أكبر من 600 وأكبر من 200	B أكبر من أو تساوى 600	
2.70	2.40	2.10	3.80	3.20	2.90	3-7 أيام
2.20	2.00	1.90	3.00	2.80	2.50	7-60 يوم
1.40	1.60	1.70	1.70	1.90	2.00	أكثر من 60 يوم

\* في حالة اختلاف الرطوبة النسبية عن القيم المعطاه يمكن استنتاج قيم معامل الزحف بالنسبة والتناسب ولايفضل استخدام هذا الجدول الا في حدود رطوبه نسبية بين 40 ، 85 %

جدول (7-9) قيمة معامل التصحيح بدلالة نسبة الإجهاد العمودى للمقاومة .

0.5	0.4	0.33	نسبة الإجهاد للمقاومة
1.25	1.1	1.00	$\alpha$

#### 9-4-6 الزحف لأعضاء الخرسانة المسلحة :

نظراً لأن صلب التسليح لا يزحف في درجات الحرارة العادية فإن زحف الخرسانة المسلحة  $e_{us}$  يقل عن زحف الخرسانة  $e_u$  بقيمة قدرها  $(e_{us} - e_u)$  وينشأ عن هذا التقييد إجهاد ضغط في الصلب وإجهاد شد في الخرسانة قيمته تتوقف على معايير مرونة للخرسانة والصلب .

#### 9-4-7 أهمية حسابات الزحف :

- يتم حساب الزحف ليؤخذ في الاعتبار في حساب سهم الانحناء للأعضاء المعرضة للانحناء كما يلي :

$$y = y_0(1+\Phi).$$

حيث  $y_0$  هو الترخيم اللحظي و  $y$  هو الترخيم النهائي بعد الزحف  
- يحسب انفعال الزحف في الأعضاء الخرسانية سابقة الإجهاد في منسوب صلب سبق الإجهاد نتيجة تعرضها لإجهاد قدره  $f_0$  . ثم نحسب الفوائد في إجهاد صلب التسليح بضرب انفعال الزحف في معايير مرونة الصلب .  
- يساعد دراسة الزحف في توقع حدوث الإنهيار في الأعمدة الخرسانية كما سيلى في الأمثلة التالية

أمثلة :

مثال (1):

كمره كابولية خرسانية بحر ها 3.00 متر مصنوعة من خرسانة مقاومتها في الضغط 400 كجم/سم<sup>2</sup> وقطاعها مستطيل  $1.00 \times 0.15$  م وتعرض لحمل مركز قدره 3 طن إحسب الهبوط الأقصى اذا كانت الرطوبة النسبية = 55 % وتم التأثير بالحمل بعد 7 أيام من الصب عند مقاومة 300 كجم/سم<sup>2</sup> افرض أن  $E_c = 200 \text{ t/m}^2$

الطريقة الأولى :

الخرسانة جيدة المقاومة باستخدام المعادلتين (6-9) ، (7-9)

$$\Phi_{\max} = 1.25 + 2.75 (0.69) = 3.10$$

$$\Phi_{\min} = 0.75 + 0.825 = 1.60$$

$$\Phi_{\text{av}} = 2.35$$

المساحة السطحية =  $2300 \times \text{البحر} \text{ م}^2$  .

الحجم =  $1000 \times 150 \times \text{البحر} \text{ م}^3$  .

$$65 = 2300/150000 = V/A$$

جدول رقم (5-9)  $CS = 1.36$

بفرض أن القطاع غير مشرح

$$M_{mt} = 1.8 - 1.8 (300/400 - 0.375)$$

$$M_{mt} = 1.8 - 1.8 (0.75 - 0.375) = 1.125 .$$

$$\Phi = 2.35 * 1.36 * 1.125 = 3.6$$

$$I = 1.0(0.15)^3 / 12 = 2.8125 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$y_0 = Pl^3 / 3E_c I .$$

$$= \frac{3.0 * 3^3}{3 * 200 * 2.8125} * 10 = 0.48 \text{ cm}$$

$$y = 0.48 (1 + 3.6) = 2.21 \text{ cm}$$

$$B = 2AC / Pe$$

طريقة الكود

$$= \frac{2 * 1000 * 150}{2300} = 130mm$$

من جدول ( 6-9 )

$$\Phi = 3.8 \quad y = y_0 (4.8) = 2.30 \text{ cm}$$

بمقارنة النتيجة نجد كيف أن الكود المصرى سهل ويعطى قيمة متقاربة مع الطريقة الأولى للخرسانة عالية المقاومة .

مثال (2)

عمود قطاعة  $0.4 \times 0.4$  ومقاومة الخرسانة 300 كجم/سم<sup>2</sup> احسب احتمال الإنهيار السريع اذا حمل بالإجهادات التالية 60 ، 100 ، 150 ، 250 كجم/سم<sup>2</sup> اذا علم أن انفعال الإنهيار ( $e_u$ )  $10 \times 3500$  . استخدام طريقة الكود اذا تم تحميل العمود بعد اسبوع من الصب .

الحل :

نفرض أن معايير مرونة الخرسانة ثابت لجميع الإجهادات 300 طن/م<sup>2</sup> وبإهمال تأثير صلب التسليح

$$B = 2 * \frac{400 * 400}{4 * 400} = 200$$

$$\Phi = 3.8$$

$$e_{uc} = \frac{f_0}{E} (1 + \phi) * 10^{-6} = \frac{4.8}{300} f_0 = 0.016 * f_0$$

حيث  $e_{uc}$  الإنفعال الحرج الناتج فى الأعمدة عند إجهادات مختلفة وتلك الحسابات موضحة بالجدول التالى :

جدول (8-9) حسابات المثال السابق .

الإجهاد بالطن /سم <sup>2</sup>	0.06	0.10	0.15	0.25
$f_0/f_{cu}$	0.2	0.33	0.5	0.83
$\alpha$	1	1	1.25	1.25
$e_{uc} 10^{-6}$	960	1600	3000	980
$e_{uc}/e_u$	0.27	0.450	0.85	> 1.0

- فى حالة الإجهاد 60 كجم/سم<sup>2</sup> يلاحظ أن الإنفعال الحرج بعد اعتبار الزحف أقل كثيراً من إجهاد الإنهيار وهو  $10 \times 3500$  ولذلك لاخطوره على العمود فى تلك الحالة .

- فى حالة إجهاد قدره 100 كجم/سم<sup>2</sup> نجد أن النسبة بين الإنفعالين وصلت لـ 0.45 وهذا يعنى أن العمر للمبنى سيقبل .

- فى حالة إجهاد 150 كجم/سم<sup>2</sup> وصلت النسبة الى 0.85 وهذا يعنى أن المنشأ سيتعرض لمشاكل خلال سنوات قليلة .

- فى حالة إجهاد 250 كجم /سم<sup>2</sup> فإنه اذا ترك المبنى ليترشح فبعد فترة وجيزه سينهار المنشأ لتخطى الإنفعال الإنفعال الأقصى ولهذا نجد أن كود الخرسانة يشترط ألا يزيد الإجهاد المسموح به لهذه الخرسانة فى الأعمدة عن 60 كجم /سم<sup>2</sup> ويجب على المهندسين عدم تعلية أية منشآت ولقد أثرت اعطاء هذا المثال لأوضح مدى الخطوره ومن المهم التأكيد على الدور الجيد لصلب التسليح لتقليل آثار الزحف .

## الباب العاشر اختبارات الخرسانة المتصلدة (Testing of Hardening Concrete)

### 10-1 مقدمة:

اختبارات الخرسانة المتصلدة من أهم اختبارات الخرسانة. وجرى العرف على اعتبار مقاومة الضغط المعيار الأساسى لجودة الخرسانة. ويمكن عن طريق مقاومة الضغط استنتاج المقامات الأخرى مثل مقامات الشد والانحناء والقصر وغيرها. وفيما يلى سيتم عرض الاختبارات التى تجرى على الخرسانة المتصلدة.

### 10-2 طريقة تحضير مكعبات الإختبار من الخرسانة الطازجة وتحديد مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية

#### Preparation of concrete Test Cubes and Determination of Cube Compressive Strength

##### 10-2-1 طريقة أخذ عينات الخرسانة للطازجة بالموقع

تختص هذه الطريقة بأخذ عينات الخرسانة الطازجة اللازمه لجميع اختبارات الضغط والانحناء والشد واختبارات الخرسانة الطازجة . يتم أخذ عينة خرسانة من الجزء الأوسط من الخلطة الحجمية أو من العربة الناقلة للخرسانة بحيث يستبعد الجزء الأول والأخير وتؤخذ العينة بجاروف الغرفة الواحد منه تأخذ كمية من الخرسانة حوالى 5 كيلو جرام وتوضع العينة فى وعاء قياسى من ماده لاتصدأ لا يقل سعته عن 9 لتر ويجب أن تكون العينة بحجم يكفى لصب العينات المطلوبه والحرص على حمايتها من الشمس والرياح ويجب تسجيل شهاده بمعلومات وبيانات هذه العينة وتاريخ أخذها .

##### 10-2-2 مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية

— تصف هذه الطريقة تحضير مكعبات قياسيه من الخرسانة الطازجة لتحديد مقاومة الضغط عند أعمار مختلفه ويجب أثناء ملأ القالب إستبعاد أى ركام يزيد مقاسه عن 40 مم .  
— يجب أن يكون القالب مصنوع من الحديد الزهر أو الصلب بحيث يكون للقالب قياسى من جهة أبعاده (150 مم  $\pm$  0.15 مم) وصلادة مادته وإستواء أسطحه ويجب أن يكون القالب مكون من جزئين ولايستخدم أى قالب مكون من أكثر من جزئين . يدهن للقالب بماده تمنع التصاق الخرسانه بالقوالب .  
— تجهز سطح أفقى سواء فى المعمل أو الموقع .  
— تؤخذ عينه من الخرسانة بالطريقة القياسيه المذكوره سابقاً وتخلط فى إناء قياسى بطريقة قياسية .

— يتم صب الخرسانة فى المكعب على ثلاث طبقات إرتفاع الطبقة 50 مم ويتم دمك كل طبقه بواسطة قضيب دمك قياسى (وزنه 1.8 كجم وبطول 380 مم بمقطع مربع طول ضلعه 25 مم) بـ 30 دمكه على الأقل ويمكن إستخدام منضده هز على أن يتوقف الدمك عند صعود الماء لسطح الخرسانه.

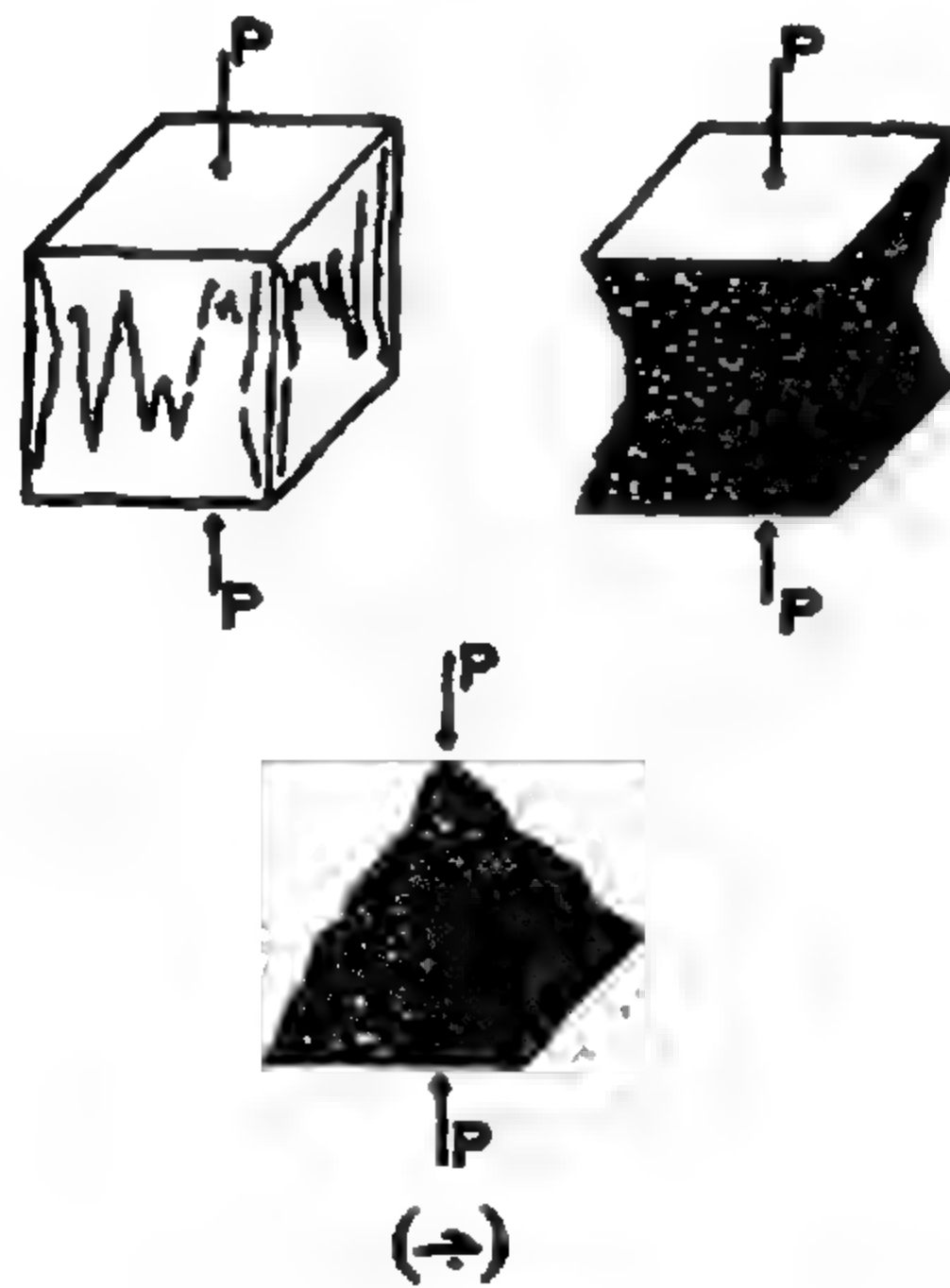
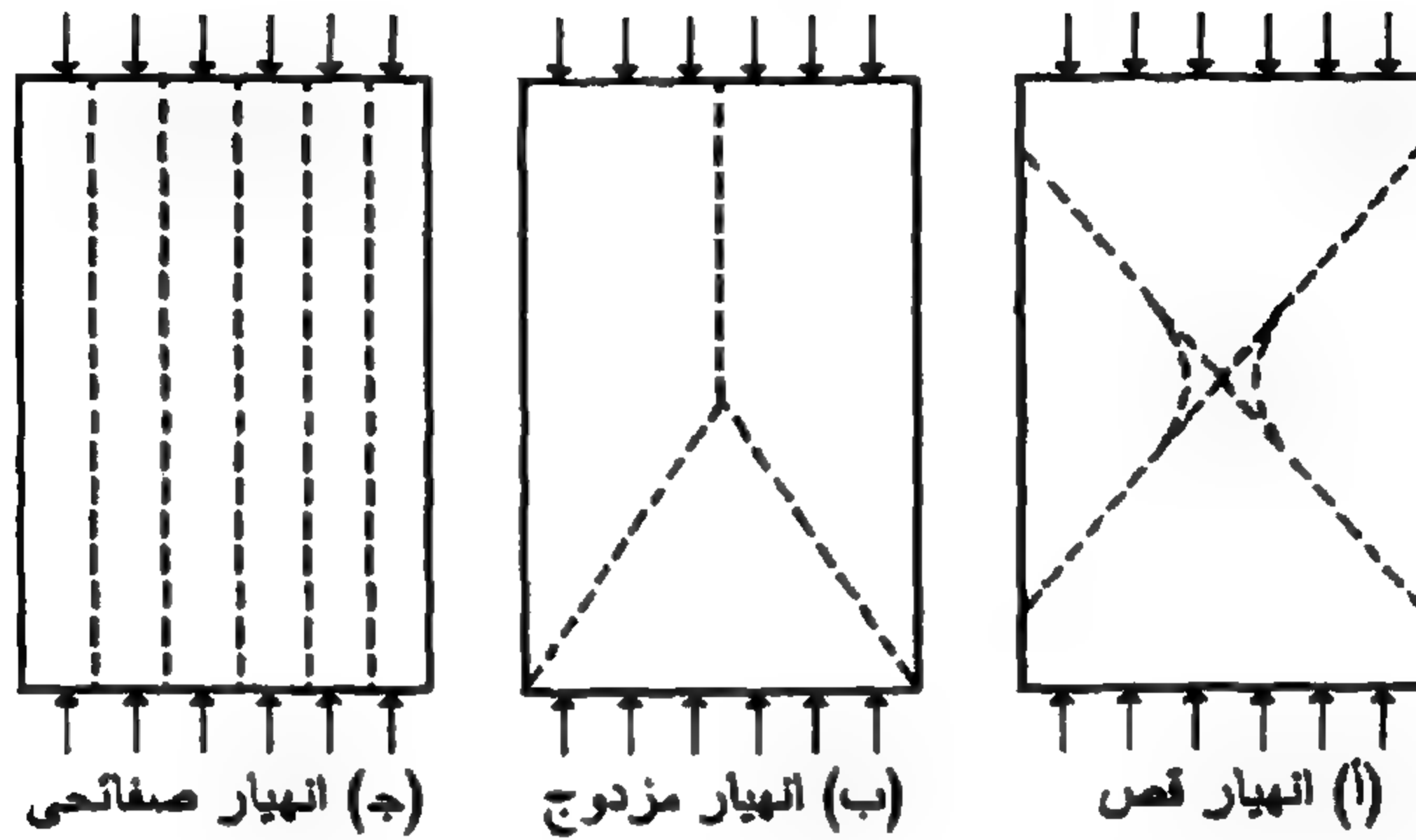
— تحفظ العينات بعيداً عن الشمس أو الرياح ويتم فك القوالب بعد 24 ساعه من الصب ويتم البدأ فى المعالجه القياسيه .



- عند عمر الإختبار المطلوب ( 3 ، 7 ، 28 يوم ) يتم مسح وجهي التحمي وتسجل حالة رطوبة العينه (جافه أو جافه في الفرن أو رطبه ) .
- يتم وضع المكعب في مركز لوحى فكى ماكينه إختبار الضغط الهيدروليكيه ( المعاييره )
- يتم للتأثير بمعدل قياسى (يتم إختبار المكعب فى زمن من 60 : 90 ثانية )
- ويحدد الحمل الأقصى الذى يحدث عنده الكسر F (كيلو نيوتن) .

$$\text{— مقاومة الضغط للمكعب} = \frac{F}{\text{مساحة المقطع}} = \frac{1000 \times F}{150 \times 150} = \text{ن/م}^2$$

- شكل الانهيار فى الضغط سواء العينات المكعب أو الاسطوانة موضح بشكل (10-1).



شكل (10-1) أشكال الانهيار فى إختبار الضغط

- وفى حالة استخدام عينات غير قياسية (مكعب 15×15×15)، فإنه يلزم تحديد مقاومة الضغط بضرب نتائج الاختبارات فى معاملات تصحيح الشكل والأبعاد كما فى الجدول التالى:



معامل التصحيح	أبعاد قالب الاختبار (سم)	شكل القالب
0.97	10×10×10	مكعب
1.00	15×15×15 أو (15.8×15.8×15.8)	مكعب
1.05	20×20×20	مكعب
1.12	30×30×30	مكعب
1.20	20×10	اسطوانة
1.25	30×15	اسطوانة
1.30	50×25	اسطوانة
1.25	30×15×15 أو (31.6×15.8×15.8)	منشور
1.30	45×15×15 أو (47.4×15.8×15.8)	منشور
1.32	60×15×15	منشور

10-3 طريقة تحضير أسطوانات الاختبار من الخرسانة الطازجة وتحديد مقاومة الضغط للإسطوانة

### Preparation of Concrete Test Cylinder and Determination of Cylinder Compressive Strength

أولاً : تحضير وصب الإسطوانات :

— تستخدم إسطوانات قطرها 150 مم وإرتفاعها 300 مم أو إسطوانات قطرها 100 مم وإرتفاعها 200 مم سواء لتحديد مقاومة الضغط أو مقاومة شد الانفصال ولايزيد المقاس الإعتبارى الأكبر عن 20 مم أو 40 مم فى حالة إسطوانة قطرها 100 مم أو 150 مم على الترتيب .

— يجب أن تكون الإسطوانة مصنوعة من قالب قياسى معدنى سواء فى الأبعاد أو الصلادة أو رأسية محور الإسطوانة 0.

— تصب الإسطوانة بنفس طريقه صب المكعب على أن يتم صب الخرسانه على طبقات سمك كل طبقه 50 مم مع دمك كل طبقه بقضيب الدمك القياسى بعدد لا يقل عن 20 دمكه لو 30 دمكه فى حالة الإسطوانة ذات القطر 100 مم أو 150 مم على الترتيب بحيث لا يحدث نزيف فى حالة الخرسانه عالية التسيغليه أ .

ثانياً : تجهيز سطح الإسطوانة العلوى لمقاومة الضغط .

1 — أثناء صب الإسطوانة :

— يتم ملأ الإسطوانة مع ترك مسافه من 3 مم الى 6 مم وبعد فترة صغيره يتم تخشين السطح .

— يتم تجهيز مونه أسمنتيه ورمل ناعم غنية (بنسبة 1 : 2 ) 0

— نملأ مكعبات مساحة سطحها 5000 مم<sup>2</sup> بالمونه الأسمنتيه .

— يزال الماء الزائد على سطح الإسطوانة بأسفنجه .

— توضع المونه وتملأ الإسطوانة بحيث يكون سطحه محدب فى منتصف الإسطوانه .

— يتم دهان لوح من الزجاج بزيت ويوضع اللوح أعلى الإسطوانه ويضغط عليه مع تعريضه للدوران بحيث يتم تنعيم السطح .

— عند إختبار الإسطوانه يجب إختبار مكعبات مونه الأسمنت فى الضغط والتأكد أن مقاومة المونه أكبر من مقاومة الخرسانة المتوقعه .

2 — تجهيز السطح العلوى للإسطوانه بعد تصلب الخرسانه .

— فى حالة عدم تجهيز السطح أثناء الصب أو أن يكون التجهيز فى حالة الصب غير جيد يستخدم الطرق التالية .

2 — 1 باستخدام مونه أسمنتية .

— يتم تخشين سطح الخرسانه العلوي.

— توضع الإسطوانه على سطح أفقى تماماً .

— يثبت طوق صلب بالإسطوانه الخرسانيه وتكون حافته العليا أفقياً وفوق أعلى سطح الخرسانه .

— يتم الصب بالمونه الأسمنتية الغنيه السابق ذكرها والتسويه كما فى التجهيز أثناء الصب

2 — 2 التسوية بالكبريت :

— يتم استخدام الكبريت والرمل الناعم السليسي بنسبة 1 : 1 بالإضافة لـ 1—2 % كربون أسود ويتم التسخين فى درجة حراره من 130 — 150 درجة مئوية مع التقليب حتى يكون الخليط سائل ومتجانس .

— يستخدم جهاز التسوية الذي يكون محوره رأسى وله قاعده سفليه على هيئة وعاء يملأ بالكبريت وتوضع الإسطوانه بحيث تكون رأسية بالإستعانه بالدليل الرأسى وبعد تصلب طبقة الكبريت تقلب الإسطوانه على الوجهه الآخر من الإسطوانه .

— تملأ مكعبات مساحة مقطعها 50 سم<sup>2</sup> بالكبريت وتختبر تلك المكعبات فى الضغط قبل إختبار الإسطوانات الخرسانية للتأكد من أن مقاومة الكبريت أكبر من مقاومة الإسطوانه

ثالثاً : الإختبار :

— عند عمر الإختبار المطلوب يتم تجهيز الإسطوانه للإختبار .

— توضع الإسطوانه فى مركز لوحى ماكينة إختبار الضغط الهيدروليكي (المعايره) .

— يتم التحميل بمعدل تحميل قياسي ونحدد الحمل الأقصى الذى يحدث عنده الكسر (F) (كيلو نيوتن) .

— مقاومة الضغط للإسطوانه =  $\frac{F}{\text{مساحة الدائره مم}^2}$  = ن / مم<sup>2</sup>

— شكل الانهيار موضح بشكل (10-1).

#### 10-4 طريقة تجهيز وصب كمرات إختبار وتحديد معايير الكسر

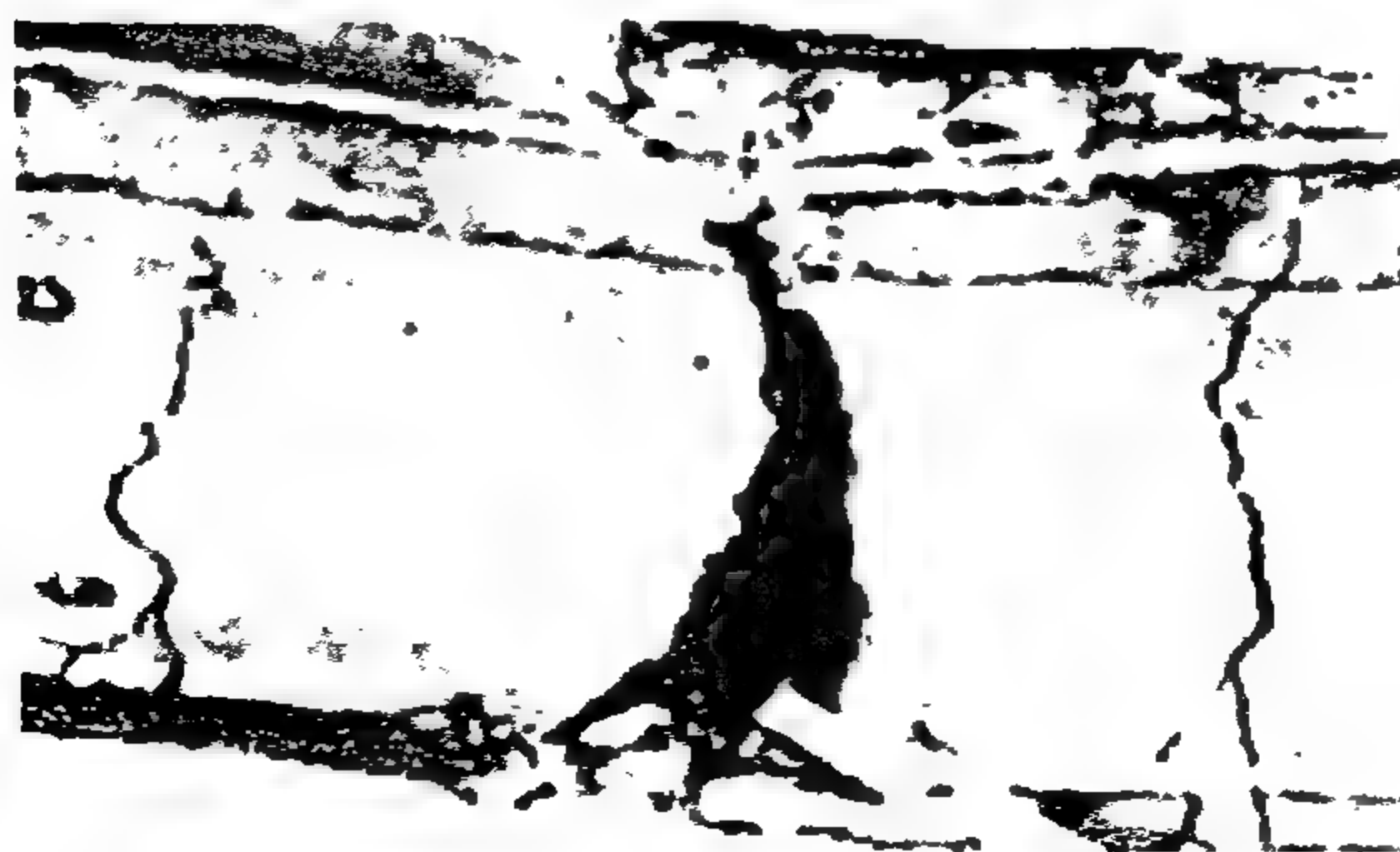
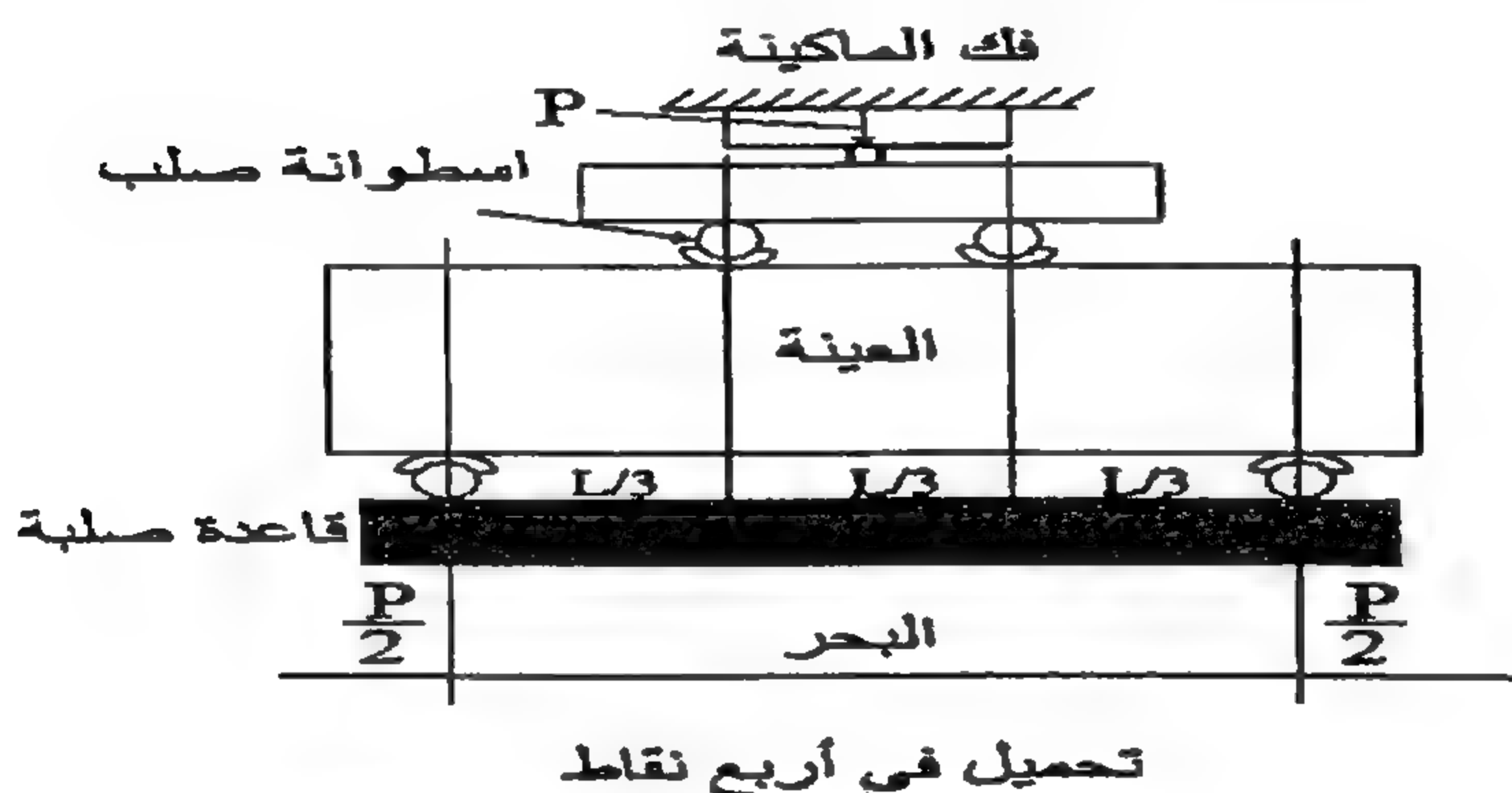
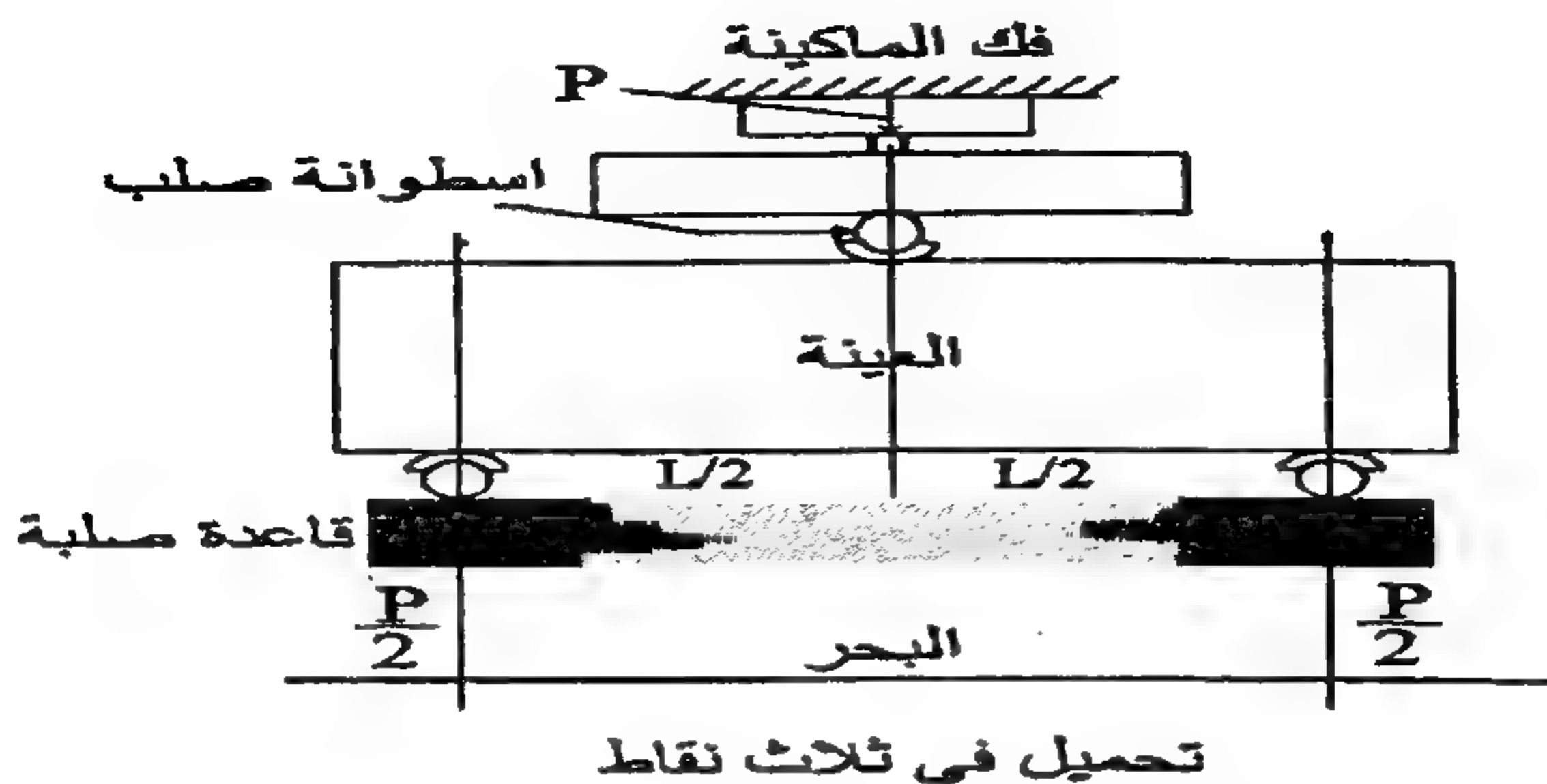
#### Preparation and Casting of beams for Modulus of Rupture Test

— تهدف هذه الطريقه لوصف وتجهيز وصب كمرات خرسانية بأبعاد 500 × 100 × 100 مم طول تستخدم لتحديد معايير الكسر لخرسانه ركامها مقاسه الإعتباري الأكبر للركام 20مم وكمرات بأبعاد 750×150×150 مم لخرسانه ركامها مقاسه 40 مم .

— يتم تجهيز قوالب قياسيه من الصلب أو الزهر وهذه القوالب قياسيه فى أبعادها ومساحتها وإستواء أوجهها وتركيبها وإسلوب تجميعها .

— تؤخذ عينة من الخرسانه الطازجه وتجهيزها فى وعاء بطريقه قياسيه .

- يتم صب الكمرات على طبقات لا يزيد سمكها عن 50 مم وتدمك كل طبقة بقضيب الدمك القياسي بعدد 150 دمكه أو 100 دمكه للطبقة الواحد في حالة الكمرات ذات المقاس 150 مم و 100 مم على الترتيب ويمكن دمك الكمرات على هزاز حتى ظهور لمعان لطبقة الماء .
- يجب وضع الكمرات أثناء صبها على لوح أو طبليّة مستوية وأفقيه تماماً .
- عند عمر معين يختبر منشور الخرسانه إما بالتحميل في الإنحناء في ثلاث نقاط أو تحميل في أربع نقاط، كما هو مبين بشكل (2-10).



شكل الانهيار

شكل (2-10) اختبار الانحناء (معايير الكسر) وشكل الانهيار

– وكما هو واضح من شكل (10-2) فإن الانهيار يحدث بالتشريح فى قاع الكمرة نتيجة إجهادات الشد.

#### 10-5 اختبار مقاومة شد الانفلاق للخرسانة ( شد الانفصال ) :

• نظراً لصعوبة إجراء اختبار الشد المباشر نظراً لوجود إجهادات ضغط مركزة بين كلابات التثبيت وعينة الاختبار، وكذلك احتمال عدم مركزية حمل الشد، فإنه يتم اللجوء إلى طرق غير مباشرة لقياس مقاومة الشد.

• خطوات الاختبار:

1. تصب الخرسانة المراد تعيين مقاومة الشد لها فى اسطوانات (150\*300مم) ، وتعالج بنفس طريقة اختبار الضغط.

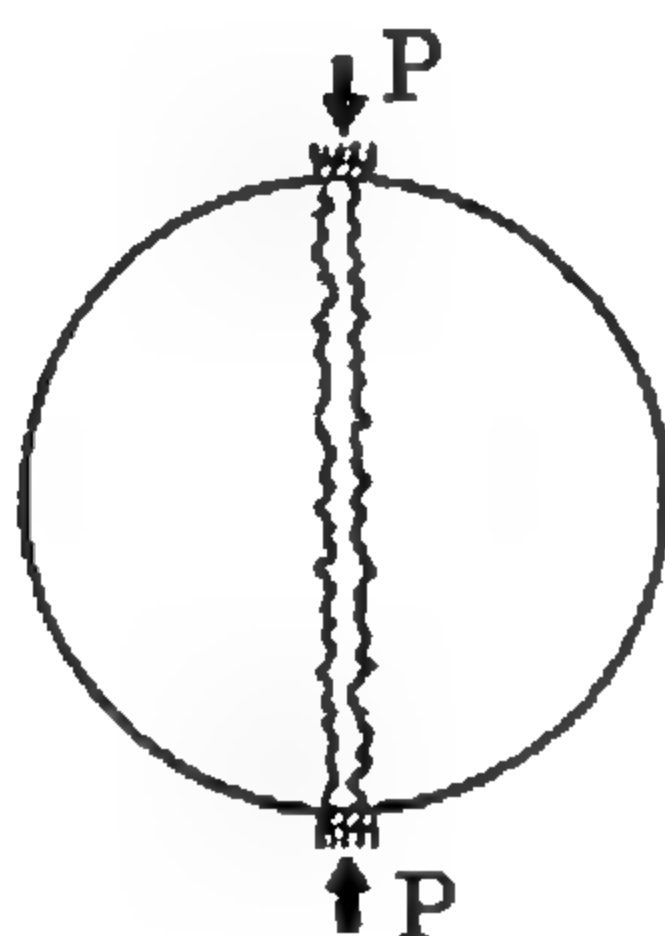
2. توضع العينات عند اختبارها بين راسى ماكينة الاختبار بين شريحتين من الخشب الأبلكاچ أو المطاط بعرض 2سم. بحيث يتوزع الحمل على راسمها

3. يتم التحميل على العينة تدريجياً حتى الكسر، ويُعين حمل الكسر.

• تحليل النتائج:

$$\text{مقاومة شد الانفلاق} = \frac{\text{حمل الكسر}}{\text{ط} \times \text{القطر} \times \text{الطول}}$$

• شكل (10-3) يوضح شكل الانهيار فى اختبار شد الانفلاق، حيث تنقسم الاسطوانة إلى نصفين بكامل طولها نتيجة إجهادات الشد.



وشكل (10-3) شكل الانهيار فى اختبار شد الانفلاق

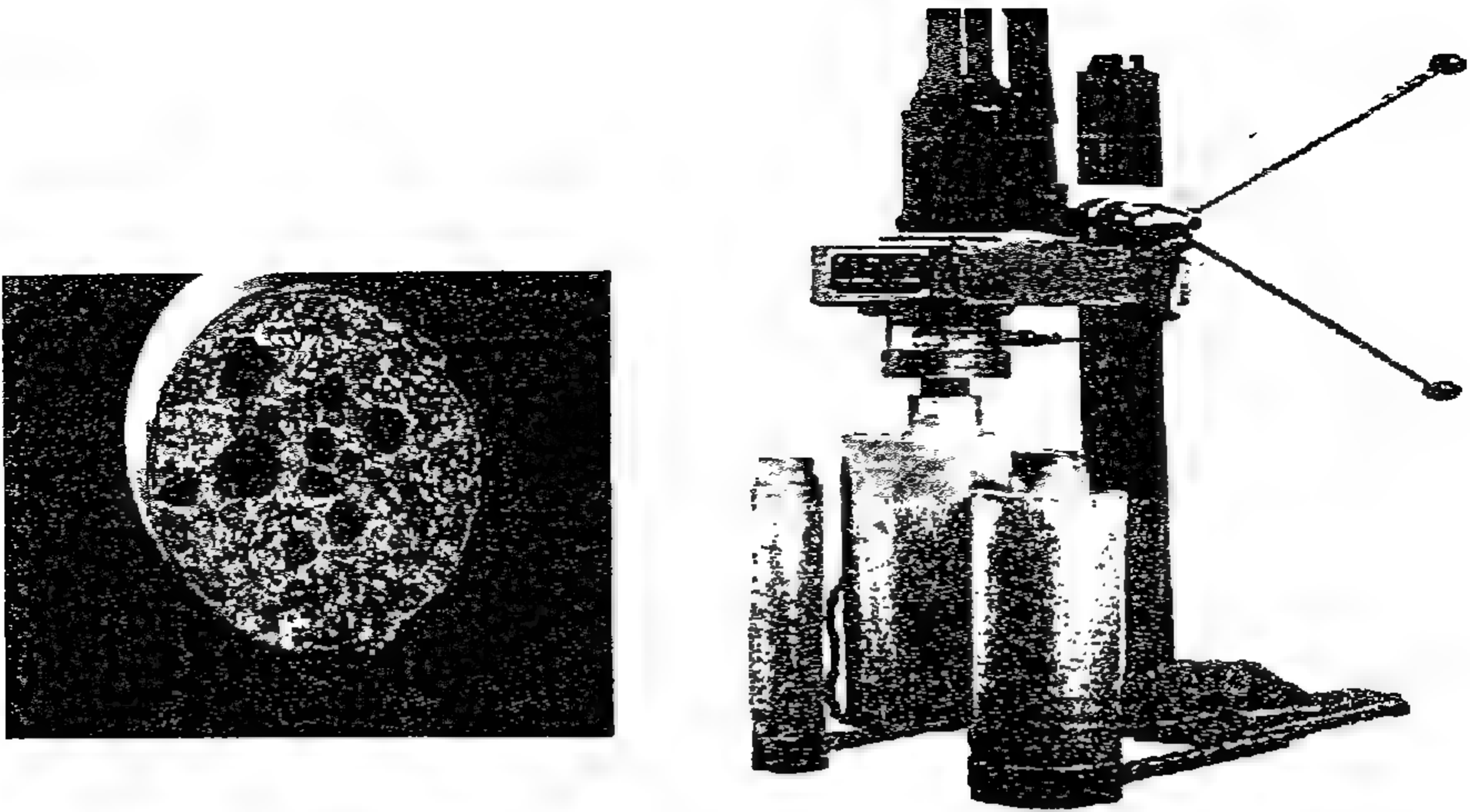
#### 10-6 اختبار القلب الخرساني:

يستخدم هذا الاختبار لتعيين مقاومة الضغط للخرسانة بصورة حقيقية . ويتم بواسطة اختبار عينة منتزعة من قلب الخرسانة من بعض الأعضاء الإنشائية الأساسية (الأعمدة- الكمرات- البلاطات- الأساسات). وهو اختبار نصف متلف.

• الأجهزة:

تستخدم أجهزة بها اسطوانات ثقب من الماس. والجهاز عبارة عن مثقاب مزود باسطوانة لها رأس ماسى يدور بسرعة عالية بالكهرباء أو الديزل ليستخرج عينات خرسانية اسطوانية. وشكل (10-4) يوضح أحد الأجهزة وتصحبه أسطوانات قطع بأقطار مختلفة وكذلك أحد عينات الخرسانة المستخرجة.





شكل (10-4) أحد أجهزة استخراج القلب الخرساني وعينة قلب

- حجم العينة:  
يعتبر قطر العينة (150مم) هو القطر القياسي إذا كانت الخرسانة من القوة بحيث لا تتأثر بالكسر أثناء انتزاع العينة من الخرسانة، وقطر 100مم يمكن استخدامه. وطول العينة لا يقل عن 95% من قطرها.
- استخراج العينة:  
يجب أن تستخرج العينة عمودية على السطح الموجودة فيه، ويدون رقم العينة ومكانها واتجاه أخذها مباشرة.
- فحص العينة :  
تفحص العينات كالتالي:  
أ- وصف الركام بالعينة (الحجم - النوع - حالة السطح - الشكل).  
ب- توزيع مكونات الخرسانة (تركيز الركام بالنسبة للمونة).  
ج- درجة دمك الخرسانة وحجم الفراغات والتعشيش وأماكن وجودها واتجاهها وتحديد أسبابها، .
- قياس العينة:  
1- القطر المتوسط: يؤخذ عبارة عن متوسط لعدد 6 قراءات، كل قراءتان عند مستوى واحد ومتعامدان، وإحدى القراءتان في المنتصف وواحدة عند 0.25 من الارتفاع من الناحيتين.  
2- الطول: يقاس أكبر وأقل طول للعينة بعد استخراجها، ويقاس الطول بعد وضع الغطاء (Cap) على نهايتي العينة إلى أقرب 5 مم.  
3- التسليح: يقاس موضع أى صلب تسليح من منتصف السطح حتى نهاية العينة حتى أقرب 2مم، ويحدد قطر صلب التسليح .
- تجهيز السطح (نهايتي القلب):  
يتم تجهيز السطح حتى يكون مستوياً تماماً وأفقي لاستخدامه في ماكينة الاختبار. يتم ذلك بأى من الطريقتين الآتيتين:



وتستخدم هذه الطريقة للعينات الرطبة التي غمرت بالماء. وتتلخص هذه الطريقة فيما يلي:

- المونة المستخدمة: الأسمنت ذو النعومة العالية او رتبة 52 مع الرمل القياسى (يمر من منخل 0.3مم)، بنسبة 2: 1.
- تصب هذه المونة عن طريق وضع حلقة حول العينة مستوية وأفقية، ثم تصب المونة ويسوى سطحها ويوضع فوقها لوح مسطح من الحديد بعد دهانه بالزيت. وفي اليوم الثانى تكرر العملية للطرف الآخر.

## 2- الطريقة الثانية:

وتستخدم هذه الطريقة للعينات الجافة وفيما يلي سيتم توضيح خطوات هذه الطريقة:

1. يتم وزن جزئين متساويين من الكبريت والرمل السليسى الناعم (يمر من منخل 0.3مم ويحجز على منخل 0.15مم)، هذا بالإضافة إلى 1: 2% من الكربون الأسود.
  2. يسخن الخليط لدرجة حرارة 130-150 درجة مئوية، ثم تترك لتبرد ببطء مع التقليب المستمر. ويصب الخليط على مستوى أفقى من الصلب الأملس المدهون سطحه بزييت البارافين.
  3. توضع العينة فوق المونة رأسياً تماماً. وبعد عدة ثوانى يزال الجزء الزائد حول العينة ومن ثم ترفع العينة. وتكرر العملية بسرعة للطرف الأخر ويفضل استخدام جهاز التسوية.
- إجراء الاختبار:
    - 1- تجرى اختبار الضغط لعينة القلب الخرسانى بعد يومين على الأقل من إعدادها وغمرها فى الماء. ولا تختبر العينات التى بها شروخ أو عيوب. وتختبر العينات وهى فى حالة رطبة. ويجب الأخذ فى الاعتبار الاحتياطات الآتية:
      - 1- تنظيف مكان العينة بالماكينة واسطح العينة من أى أتربة أو عوالق.
      - 2- وضع العينة بحيث ينطبق محورها مع محور الماكينة.
      - 3- يوضع الحمل على العينة بمعدل تحميل قياسى ويستمر حتى حدوث الكسر.
      - 4- يتم عمل وصف لحالة الانهيار.
  - تحليل النتائج:

$$\text{مقاومة ضغط العينة} = \frac{\text{حمل الضغط}}{\text{مساحة مقطع العينة المتوسطة}}$$

ويلاحظ أن وجود التسليح بالعينة يؤثر على نتائج الاختبار. وبالنسبة للعينات الخالية من حديد التسليح يتم حساب المقاومة المقدرة لنتائج مكعبات الموقع طبقاً لما جاء بالمواصفات القياسية المصرية كما يلي:

$$\text{المقاومة المقدرة لنتائج مكعبات الموقع} = \frac{d}{1 + \frac{d}{10}} \times \text{مقاومة الضغط للعينة}$$

حيث: د = 2.5 لعينات القلب الخرسانى التى تقطع أفقياً (للعناصر التى تكون فى الاتجاه العمودى على الارتفاع الرأسى عند الصب).

د = 2.3 لعينات القلب الخرساني التي تقطع رأسياً (العناصر التي يكون فيها الارتفاع موازياً لاتجاه الصب).  
ل = نسبة الطول بعد تجهيز نهايتي العينة إلى القطر.

وبالنسبة للعينات التي تحتوي على حديد تسليح عمودي على محور القلب الخرساني، يتم حساب المقاومة المقدرة لنتائج مكعبات الموقع بضرب المقاومة المحسوبة من المعادلة السابقة في معامل تصحيح يتم حسابه على أساس عدد الأسياخ الموجودة بالعينة وقطرها والمسافة بين الأسياخ والنهاية القريبة للعينة كما يلي:  
○ بالنسبة للعينات التي تحتوي على سيخ واحد.

$$\text{معامل التصحيح} = 1 + \frac{1.5 \text{ ق ح} \times \text{س}}{\text{ق ع} \times \text{ع}}$$

- وللعينات التي تحتوي على سيخين لا تزيد المسافة بينهما عن قطر السيخ الأكبر، يؤخذ في الاعتبار أكبر قيمة ق ح \* س لأيهما.
- أما إذا زادت المسافة بين السيخين عن قطر أكبرهما فيحسب معامل التصحيح كما يلي:

$$\text{معامل التصحيح} = 1.5 + \frac{3 \text{ ق ح} \times \text{س}}{\text{ق ع} \times \text{ع}}$$

حيث: ق ح قطر سيخ الحديد.

ق ع قطر عينة القلب الخرساني.

س المسافة بين محور سيخ الحديد والنهاية القريبة.

ع ارتفاع عينة القلب الخرساني بعد معالجة نهايتها.

• القبول:

- أولاً يتم اختبار ثلاث عينات للخرسانة المراد اختبارها.
- تعتبر العينة مقبولة إذا كانت مقاومة الضغط لا تقل عن 75% من المقاومة المميزة المطلوبة.
- لا تقل المقاومة الدنيا للعينات عن 65% من المقاومة المميزة المطلوبة .
- إذا لم يتحقق ذلك يجري اختبار تحميل.

## 10-7 مطرقة الارتداد Shmidt Hammer

وتستخدم ذلك الاختبار لتعيين قيم تقريبية لمقاومة الخرسانة عن طريق رقم ارتداد كتلة مرنة ذات وزن قياسي تصدم السطح الخرساني عمودياً عليه بطاقه ابتدائية محدده حيث يعتمد ذلك الرقم على صلادة ومقاومة السطح الذي تصدمه. وتتميز تلك المطرقة بمميزات عديدة أهمها سهولة حملها وسهولة استخدامها وتعطي نتائج سريعة يمكن الاعتماد عليها في تعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة إذا توافرت منحنيات المعايرة المناسبة لتحويل رقم الارتداد إلى مقاومة ضغط . ويستخدم هذا الاختبار كاختبار ضبط جوده للتحقق من تقارب مقومات الأعضاء المختلفه للمنشأ . ولا يستخدم هذا الاختبار كاختبار قبول أو رفض للمنشأ ولا يغني عن نتائج اختبار العينات في الضغط والمأخوذه عند الصب ولا يغني عن استخدام اختبار قلب

الأعضاء المختلفة للمنشأ . ولا يستخدم هذا الإختبار كإختبار قبول أو رفض للمنشأ ولا يغنى عن نتائج إختبار العينات فى الضغط والمأخوذه عند الصب ولا يغنى عن استخدام إختبار قلب الخرسانة وإنما يعتبر إختبار مساعد بجانب إختبار الضغط أو إختبار قلب الخرسانة أو معهما لأن عدد العينات يكون محدود .

ويمكن تلخيص الطريقة الصحيحة لاستخدام الجهاز فيما يلى:

1. ينظف سطح الخرسانة المراد إختبارها بالحجر الموجود مع الجهاز ويتم تنظيف السطح

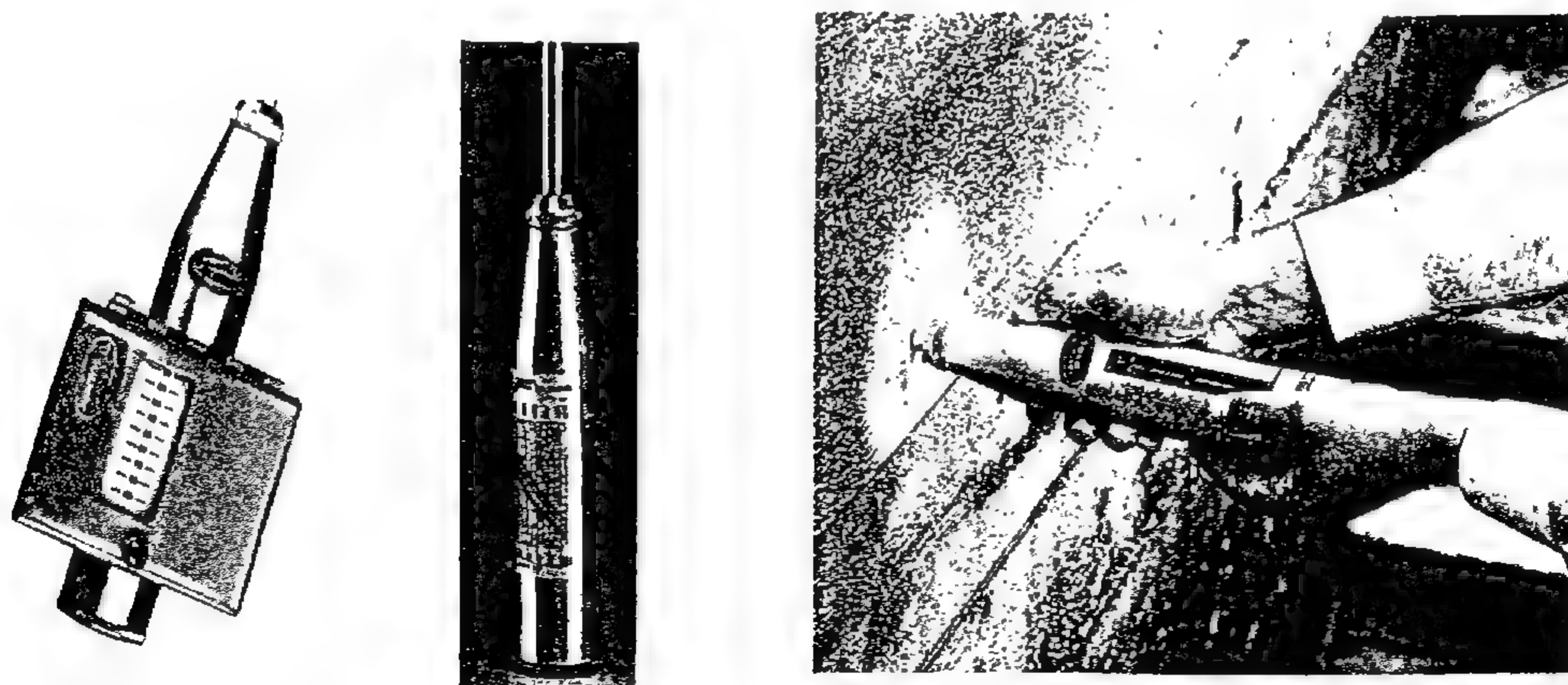
وازالة المواد الضعيفه وبقايا الشدات الخشبية .

2. يُفتح الجهاز بحيث تخرج الرأس المتحركة من الجهاز.

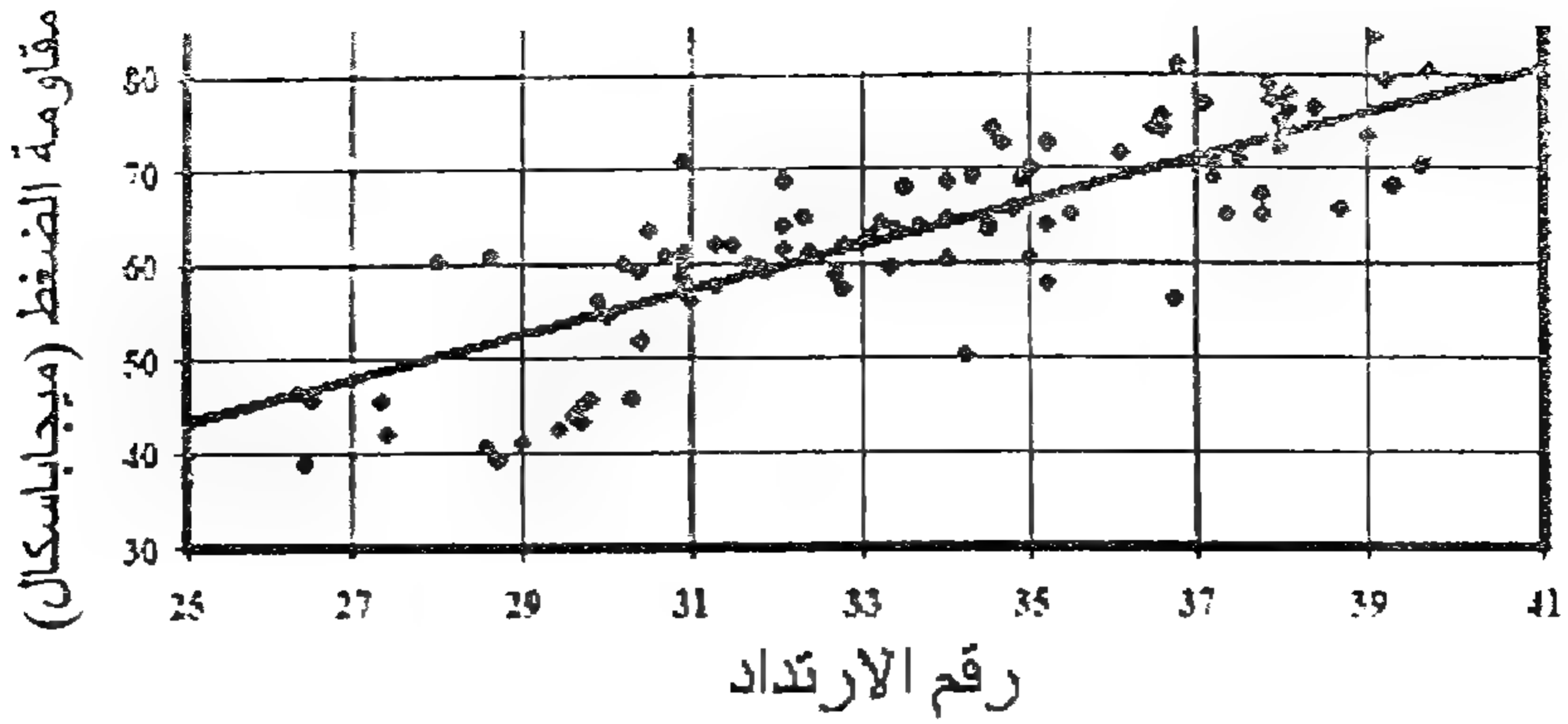
3. يوضع الجهاز عموديا على السطح المراد إختباره، ويضغط عليه حتى يسمع صوت الصدم الناتج من الجهاز.

4. يُقرأ رقم قيمة الارتداد من على التدرج الموجود على الجهاز.

ولا يُعتمد على قراءة واحدة فقط لتعيين مقاومة الخرسانة، لذلك لابد من إعادة الإختبار عدة مرات فى أماكن مختلفة للوصول للقيمة الأكثر احتمالا لمقاومة الخرسانة ( تؤخذ 12 قراءة على الأقل عند كل عنصر) . ويجب عمل التصحيحات اللازمة إذا استخدم فى أوضاع مائلة، وذلك باستخدام المنحنيات المرفقة مع الجهاز. ويجب الأخذ فى الاعتبار أن المنحنيات المرفقة مع الجهاز تم عملها عن طريق نتائج تجريبية لخرسانات تم إختبارها فى البلد المصنوع فيها الجهاز. لذلك لابد من عمل معايرة لها على الخرسانات المستخدمة فى الموقع، وذلك بالاستعانة بنتائج المكعبات أثناء المشروع، حيث يفضل قبل كسر المكعبات أن يتم وضعها فى ماكينة الإختبار والتأثير بحمل ابتدائى عليها ثم باستخدام مطرقة الارتداد يعين رقم الارتداد. وعن طريق استخدام نتائج مكعبات الموقع ورقم الارتداد المناظر يمكن رسم علاقة أقرب ما يكون للصحة تربط بين رقم الارتداد ومقاومة الخرسانة ويمكن التحقق من كفاءة الجهاز باستخدام سندان المعايير الموجود لدى المورد أو مكاتب المعايرة للأجهزة.



شكل (10-5) الجهاز وطريقة استخدامه والعلاقة بين رقم الارتداد ومقاومة الضغط لأحد الأجهزة.



شكل (5-10) أمثلة لجهاز مطرقة الارتداد وحساب المقاومة من رقم الارتداد

#### 8-10 اختبار النزع:

وشكل (6-10) يوضح طريقة إجراء الاختبار ومثال لمنحنى لأحد الأجهزة لتحديد مقاومة ضغط الخرسانة باستخدام هذا الاختبار. ويتم وضع المسامير في الشدات ويتم الصب عليها وعند عمر معين يتم نزع المسامير. ونحدد قوة النزع وباستخدام منحنى المعايرة نحصل على مقاومة الضغط.

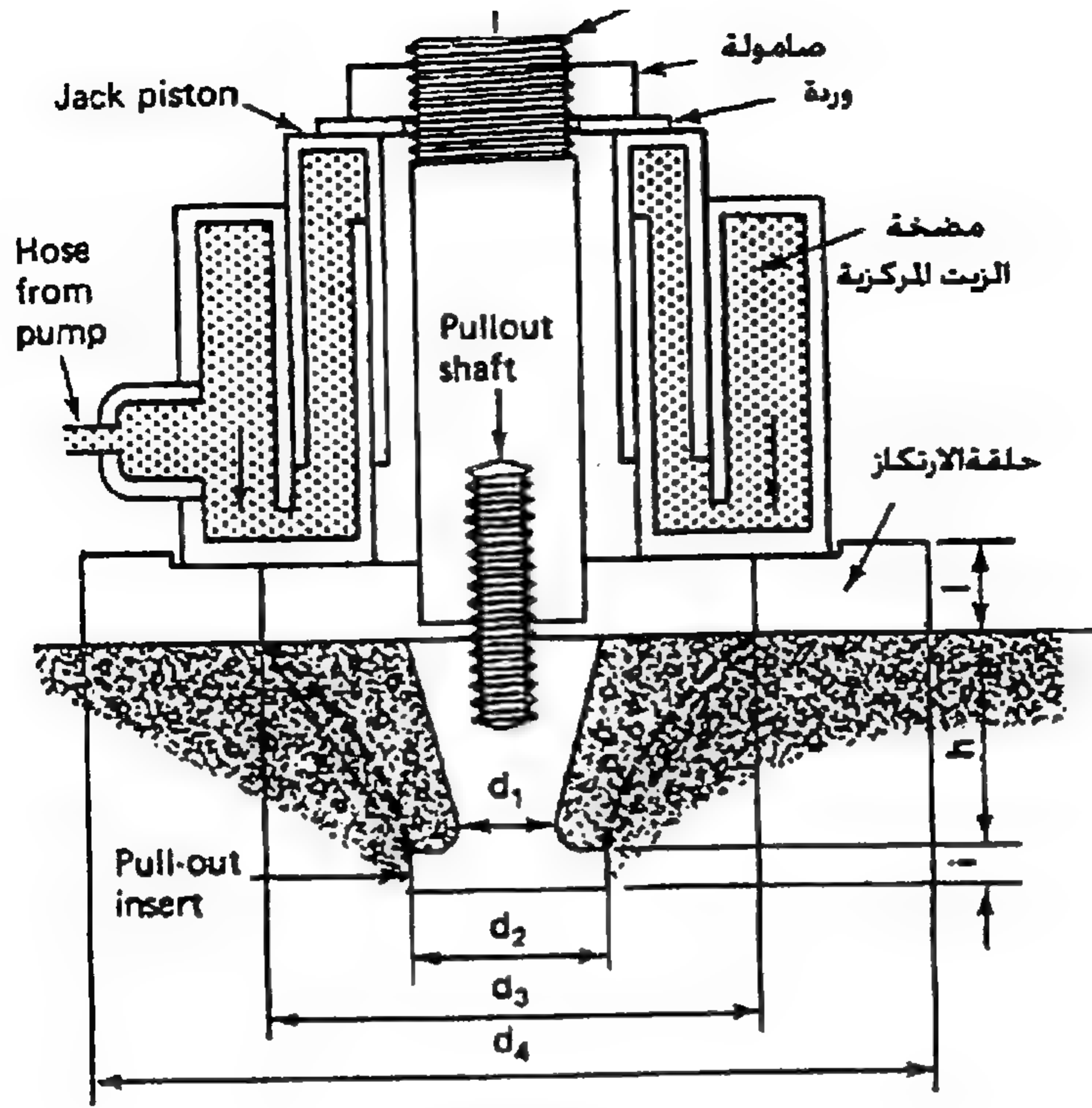
#### 9-10 اختبار سرعة قياس النبضات فوق الصوتية في الخرسانة

##### Measurement of ultrasonic Pulse velocity in concrete

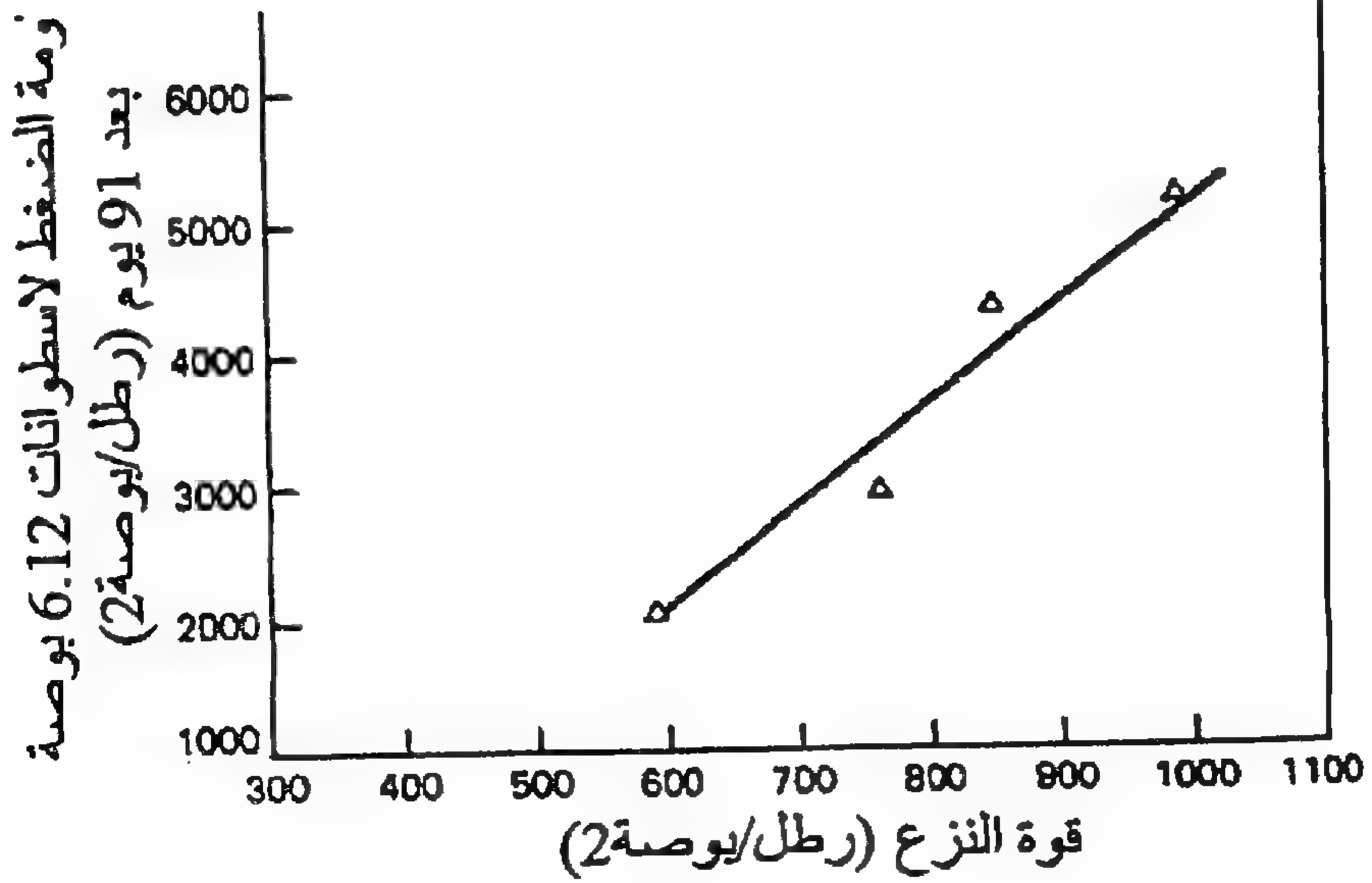
تستخدم هذه التجربة لقياس سرعة انتقال النبضات فوق الصوتية في الخرسانة (والتي يحدثها جهاز لإصدار نبضات فوق صوتية وقياس سرعة هذه النبضات بعد انتقالها عبر سمك معين من الخرسانة وتحديد زمن انتقال هذه النبضات فتكون السرعة مساوية للمسافة مقسومة على الزمن). وفكرة هذا الجهاز هي أنه كلما كانت الخرسانة كثيفة ومقاومتها عالية تزيد سرعة النبضات ولذلك يمكن حساب مقاومة الخرسانة مباشرة من قوانين تكون مصاحبة للجهاز ويمكن كذلك تحديد معايير مرونة الخرسانة ونسبة بواسون باستخدام القوانين الموجودة مع الجهاز ويجب عمل التصحيحات اللازمة نتيجة وجود صلب التسليح. ويمكن الرجوع لمراجع تفصيلية للإطلاع على تفاصيل الاختبار والقوانين المستخدمة 0 ويستخدم هذا الاختبار كاختبار ضبط جوده للمقارنة بين نتائج الأعضاء الخرسانية ولايستخدم كاختبار رفض أو قبول المنشآت الخرسانية ويمكن استعماله مع قدر من التقريب للتأكد من وجود فجوات بداخل الخرسانة أو شروخ سطحية.

وشكل (7-10) يوضح صورة أحد الأجهزة المستخدمة في هذه التجربة ومنحنى يربط بين سرعة النبضات ومقاومة ضغط الخرسانة.



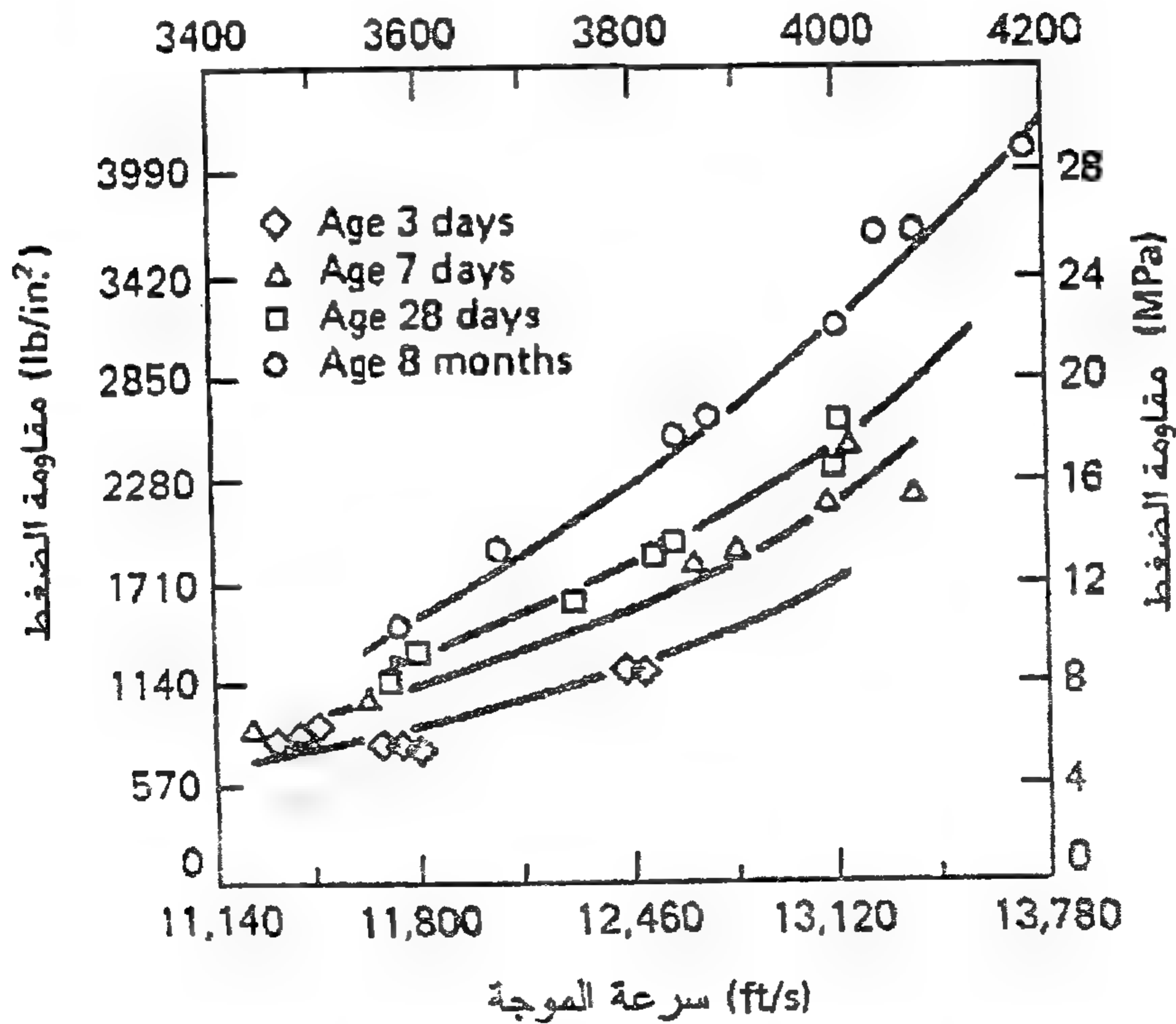
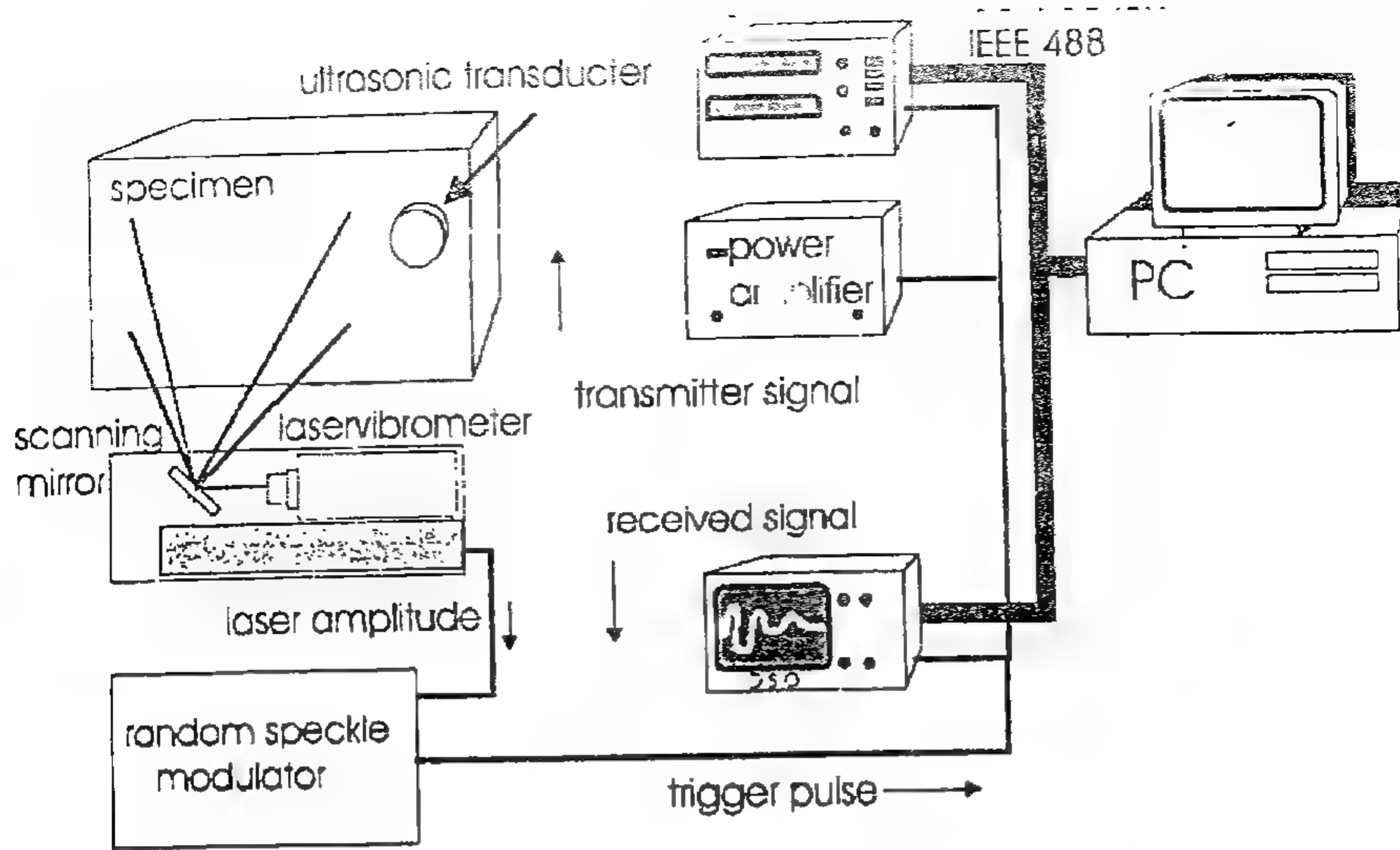


اختبار النزاع



شكل (6-10) اختبار النزاع





شكل (7-10) أحد أجهزة النبضات فوق الصوتية

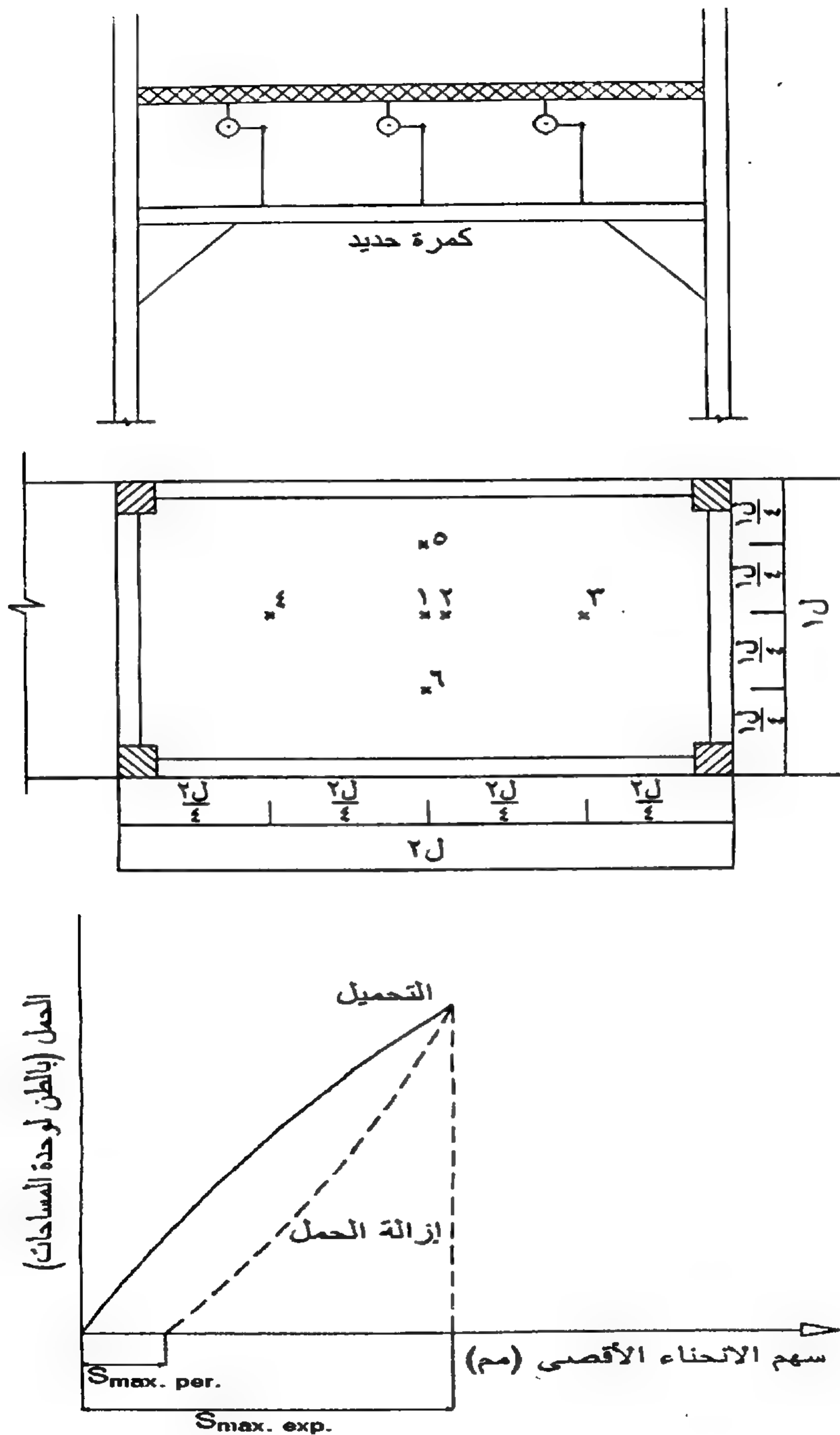
10-10 تجربة تحميل العناصر والمنشآت الخرسانية

- يجرى هذا الاختبار على أعضاء الإنحناء اذا فشلت اختبارات مقاومة الضغط واختبار قلب الخرسانة وقد يطلبها المهندس الاستشاري أو المالك للتحقق من جودة المنشأ ومطابقته للتصميم
- تجهز أوزان مثل لكياس الرمل أو الأسمنت بحيث يكون للوزن الواقع على المتر المربع = 0.85 ( 1.2 الأحمال الحية + 1.4 أحمال التغطية + 0.4 الحمل المكافئ لوزن العضو )
- يتم صلب المنشأ جيداً بحيث يمنع الإنهيار انظر شكل (8-10) ويتم تركيب مقاييس الهبوط وأخذ قراءتها .
- يتم التأثير بالحمل الكلى على أربعة تحميلات متساوية ويتم قراءة الهبوط بعد التحميل وحتى تثبت القراءه ويجب رصد الأحمال بحيث نترك فواصل بينها لمنع التأثير العكدي .
- تؤخذ قراءات الهبوط (سهم الإنحناء) بعد مرور 24 ساعة وكذلك سمك الشروخ .
- يتم رفع الحمل كاملاً وبعد رفع الحمل بـ 24 ساعة يتم قياس سهم الإنحناء وعرض الشروخ .
- الحكم على نجاح التجربة :
- (1) يتم حساب الهبوط المسموح به النظري  $\Delta_{max}$  .

$$\Delta_{max} \leq \frac{L^3}{2000}$$

- حيث L بحر الكمره أو البحر الأصغر للبلاطة بالمم وتساوى ضعف بحر الكابولي الخالص .
- يقارن الهبوط الأقصى المحدد من التجربة والذي يجب ألا يزيد عن  $\Delta_{max}$
- فى حالة ما اذا زاد سهم الإنحناء عن  $\Delta_{max}$  يجب ألا يقل الجزء المسترجع من الهبوط عن 75% من سهم الإنحناء المحقق من التجربة شكل (8-10) وفى تلك الحالة تكون التجربة ناجحه بشرط أن يكون سمك الشروخ مسموح به .

- 2 — فى حالة فشل الشروط السابقة يتم إعادة التجربة بنفس الخطوات السابقة بعد مرور 72 ساعه من رفع الحمل ويعتبر المنشأ أو العنصر غير مقبول اذا فشل العضو فى استعادة 75% من سهم الإنحناء الذى حدث فى تجربه الثانية أو أن يكون سمك الشروخ أكبر من المسموح به .
- وشكل (8-10) يوضح كيفية إجراء التجربة ورسم العلاقة بين الحمل والترخيم.



شكل (8-10) كيفية إجراء اختبار التحميل

## 1- Optical microscopy

للميكروسكوبات الضوئية حيث يتم تصوير الخرسانات عن طريق تسليط الضوء عليها بواسطة عدسات خاصة وتتوقف دقة العمل على نقاء موجات الضوء وجودة العدسات التي تحدد درجة التكبير ومنها :

### 1-1 – Infra red spectroscopy (electron microscopy)

وفية يتم استخدام الإلكترون الموجه لعمل الصور اللازمة وهذه الطريقة تعطي درجة كبيرة من التكبير والوضوح وتستخدم لفحص المادة ومنها عدة أنواع .

#### 1-1-1- (SEM) = Scanning electron microscopy.

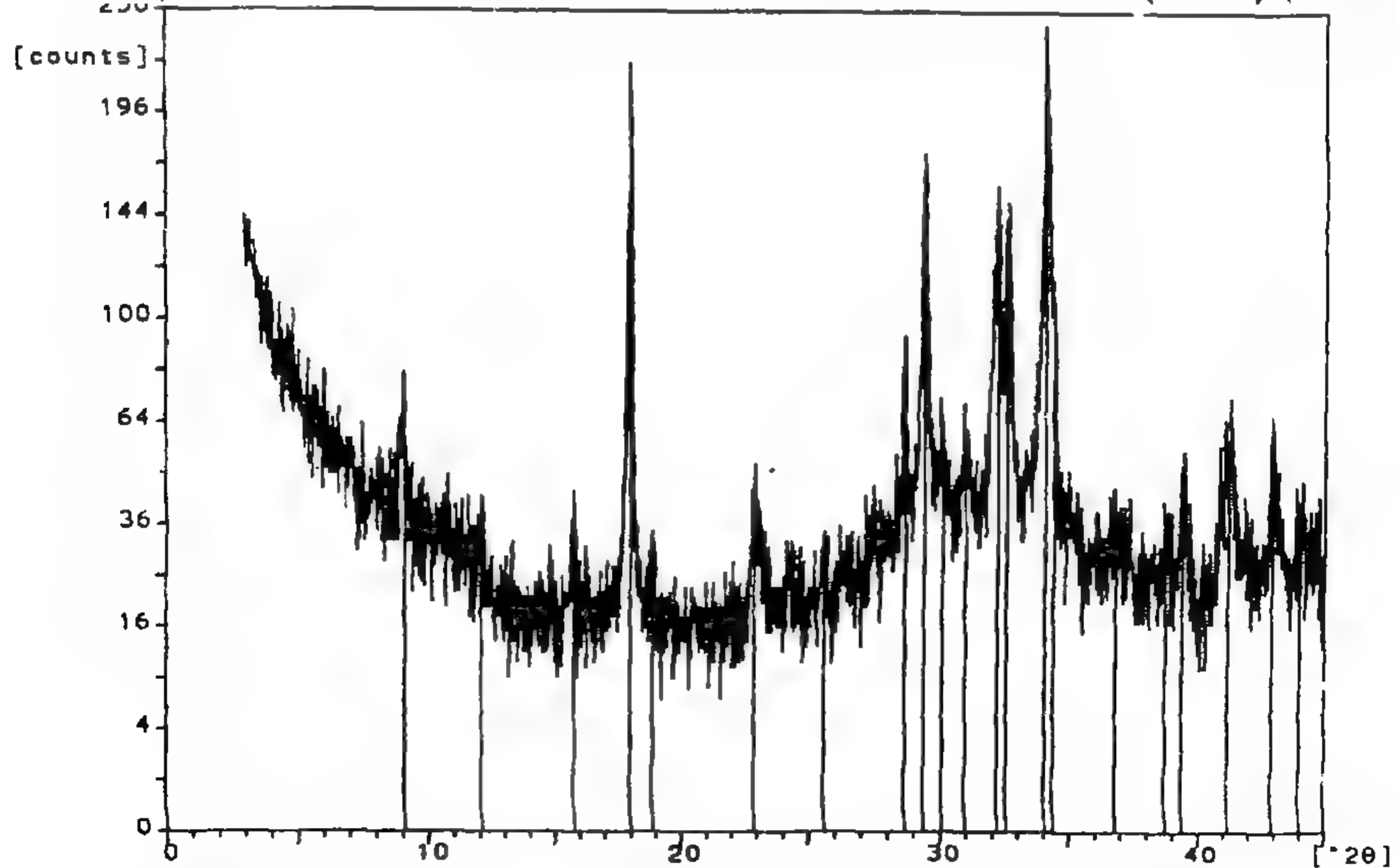
وهو قد يعمل بالإلكترون الموجه بالكهرباء electro static أو الموجه بالكهرباء المغنطيسية electro magnetic (فيض) وفية يتم أخذ عينة صلبة وتصويرها ، وفي بعض الأجهزة يستخدم من هذا التصوير كذلك للتعرف على التكوين الكيميائي للمادة المختبره بمركباتها ويطلق عليه في هذه الحالة : X-ray florescence .

#### 1-1-2 – (TEM) Transition electron microscope

وهذا يحتاج لتجهيز العينه من الخرسانه بسمك صغير جداً لذلك فهو غير شائع الإستخدام

## 2- X- ray diffraction

جهاز يستخدم أشعة (X-Ray) لكي يظهر وجود المركبات المتبلره الداخليه في التكوين البنائي للماده المختبره أما المركبات الغير متبلره الموجود في الماده cellular أو ذات التركيب الزجاجي فإنها تظهر على هيئة تموجات ضعيفه ولكل عنصر من العناصر زاويه انعكاس  $\theta$  يسجلها الجهاز ويمكن الحكم على المركبات بالمقارنة بين قيمة الانعكاسات . و شكل رقم (9-10) يبين نتيجة الإختبار على عينة عجينة أسمنية عند عمر 28 يوم.



شكل (9-10) نتيجة إختبار X- ray diffraction على عينة أسمنية

### 3- (TGA) Thermo gravimetric analysis

وهذا الإختبار يمكننا من قياس درجة الإماهة للأسمنت وكذلك محتوى هيدروكسيد الكالسيوم في الأسمنت المماه . ويتم حساب هذه القيم كداله في الفاقد في وزن العينه بعد التحليل الحرارى . وبفضل استخدام العجينة الأسمنتية في الإختبار عن المونه أو الخرسانه حتى لايؤثر محتوى الركام في العينه على فاقد الوزن .

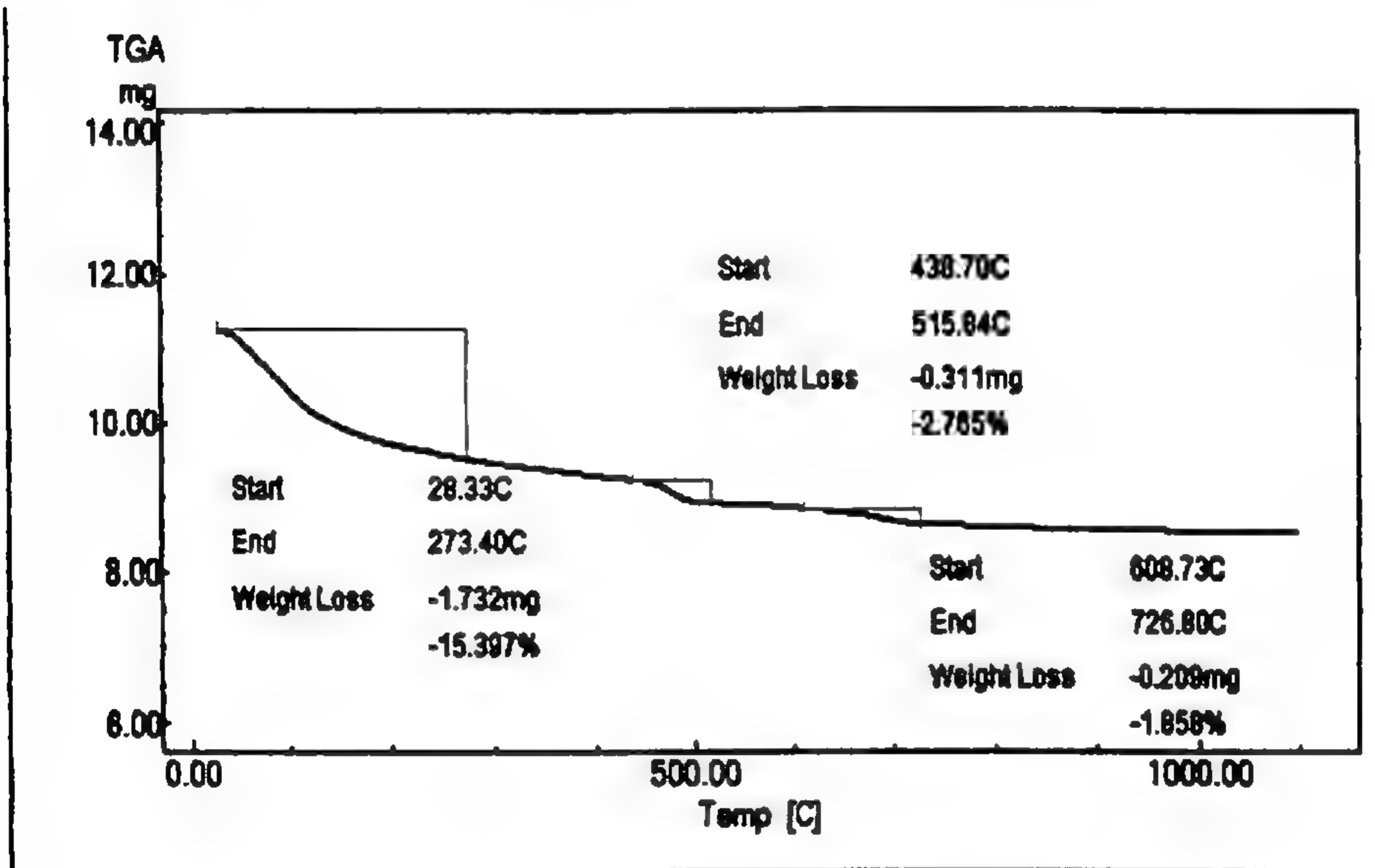
$$\alpha = \frac{Wn(t)}{Mc.Wn}$$

حيث :  $Wn(t)$  فاقد الكتله بين درجتى حراره 145 (درجه فقد الماء الغير مماء) ، 1000 درجة مئوية (تحلل مركبات الأسمنت)

و  $Wn$  نسبة الماء المستخدم في الإماهة بالنسبه للأسمنت والذي لايفقد بالتبخير = 0.23 للأسمنت البورتلاندى العادى .

و  $Mc$  وزن عينة الأسمنت بالحجم الذى استخدمت في التجربه.

و الشكل (10-10) يبين نتيجة الإختبار على عينة عجينة أسمنتية عند عمر 28 يوم.



شكل (10-10) نتيجة إختبار TGA على عجينة أسمنتية



## References

- 1 A. Abdelhakam A., Properties of High Strength Concrete, MS.C, Alexandria Faculty of Engineering, 1988.
- 2 A. E. Abdelmoty, Durability of Concrete with Mineral Admixtures, PH.D, Alexandria Faculty of Engineering, 2009.
- 3 A. M. Neville, Properties of Concrete, Fours edition, Longman Scientific and Technical (1983).
- 4 A. M. Neville, Properties of Concrete, third edition, Longman Scientific and Technical (1983).
- 5 A. M. Neville, Some aspects of the strength of concrete, Civil Engineering (London) 54, Part 1, pp. 1153-56 (Oct. 1959); Part 2, pp. 1308-11 (Nov. 1959); Part 3, pp. 1435-9 (Dec. 1959).
- 6 A. M. Neville, The influence of the direction of loading on the strength of concrete test cubes, ASTM Bul. No. 239, pp. 63-5 (July 1959).
- 7 A. M. Neville, The relation between standard deviation and mean strength of concrete test cubes, Mag. Concr. Res., 11, No. 32, pp. 75-84 (July 1959).
- 8 A. R. Collins, The principles of making high-strength concrete, Report of eleven lectures on prestressed concrete given at the Building Exhibition, London, 17<sup>th</sup> to 30<sup>th</sup> Nov. 1949 (Cement and Concrete Assoc.).
- 9 A. R. Cusens, the measurement of the workability of dry concrete, mixes, Mag. Concr. Res., 8, No. 22, pp. 23-30 (March 1956).
- 10 A.E. Sayed And R. Mohamed, Effect Of Cement Content And Type On The Resistance Of Concrete A.gainist Chemical Attack, Journal Of Engineering Science, Assiut University, 2009.
- 11 Abd El latif .Elsayed. , "High Performance Concrete with Silica Fume" MS.C Thesis, Faculty of Engineering Alex. University 2009.
- 12 Abdelkader, Safouh, The Use of Local Aggregates at The North Coast of Egypt in Concrete Manufacture, MS.C, Alexandria Faculty of Engineering, 1990.

- 13 ACI Committee 211, Recommended practice for selecting proportions for normal and heavyweight concrete (ACI 211.1-77), J. Amer. Inst., 66, No. 8, pp. 612-29 (1969); 70, No. 4, pp. 253-5 (1973); 71, No. 11, pp. 577-8 (1974); 74, No. 2, pp. 59-60 (1977), the same committee 2005.
- 14 ACI Committee 211, Recommended practice for selecting proportions for normal and heavyweight concrete, (ACI 211. 1-77), J. Amer Concr. Inst., 66, No. 8, pp. 612-29 (1969); 70, No. 4, pp. 253-5 (1973); 71, No. 11, pp. 577-8 (1974); 74, No. 2, pp. 59-60 (1977) , the same committee 2005.
- 15 ACI Committee 211, Recommended practice for selecting proportions for no-slump concrete (ACI 211.3-75), J. Amer. Concr. Inst., 71, No. 4, pp. 153-70 (1974) , the same committee 2005.
- 16 ACI Committee 223, "Expansive cement concretes – Present state of knowledge," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 67, No. 8, pp. 583-610, 1970.
- 17 ACI Committee 223, "Recommended practice for the use of shrinkage compensating cement," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 73, No. 6, pp. 319-339, 1976.
- 18 ACI Committee 304, "Recommended practice for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 69, No. 7, pp. 374-414, 1972.
- 19 ACI Committee 305, "Hot weather concreting," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 74, No. 8, pp. 317-332, 1977, the same committee 2005.
- 20 ACI Committee 306, "Cold weather concreting," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 75, No. 5, pp. 161-183, 1978.
- 21 ACI Committee 308, " Recommended practice for curing concrete," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 68, No. 4, pp. 233-243, 1971.
- 22 ACI Committee 347, " Recommended practice for concrete formwork," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 64, No. 7, pp. 337-373, 1967.
- 23 ACI Commottee 207, Mass concrete for dams and other massive structures (ACI 207.1R-70), J. Amer. Conc. Inst., 67, pp. 273-309 (April 1970) , the same committee 2005.

- 24 Ahmed Diab ,Abdeleahab Awad, Rasha Tantawy Effect of Coating of Steel on Bond Behavior Under Repetitive Loading, Building materials Colloquium, Cairo, April, 2000.
- 25 Ah. Diab ,Abd . Awad , H . El yamany , Abd El Moety , Effect of Using FRP Sheet on Flexural Behavior of Concrete Beams , 9 Th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 2001 , Ain – shams university .
- 26 Ah. Diab ,Abd . Awad , H . El yamany , Abd El Moety , Long Term Flexural – behavior and prediction of Load Deflection Relation of GFRP Strengthened Reinforced Concrete Beams 10 Th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 2003 , Ain – shams university .
- 27 Ahmed Diab, Properties Of Fibre Reinforced Concrete, Ms.C. Alex. Faculty Of Engineering, 1982.
- 28 Ahmed Diab, Cement – Alkali – Pink lime stone reaction, First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering 1990.
- 29 Ahmed Diab, Effect of elevated temperature on the properties of crushed lime stone concrete from Beirut area, First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering, December, 1990.
- 30 Ahmed Diab, Effect of plasticizers and super plasticizers on hot weather concreting, Cairo first International Conference on Concrete Structures, Cairo University 1996 .
- 31 Ahmed Diab , Effect of steel coating on bond strength and long – time flexural behavior , Cairo first International Conference on Concrete Structures, Cairo University 1996 .
- 32 Ahmed Diab , H. El yamany , The use of Corrosion Inhibitor to Control Corrosion of Ordinary Portland Cement Concrete , 6 Th EL AZHER Engineering International Colloquium , 2000 .
- 33 Ahmed Diab , H. Elyamany Effect of Corrosion Inhibitor on Mechanical properties of Concrete, Fourth Arab Structural Engineering Conference, 2000 .
- 34 Ahmed Diab , Sea water concrete durability – Tests and filed study, 7 th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 1996 , Ain – shams university.



- 35 Ahmed Diab , Shear Strength Of Partialy Prestressed Concrete Beams , Ph.D , Technical University Of Lodz , Faculty Of Engineering And Architecture , 1986 .
- 36 Ahmed Diab, Structural light weight concrete, First International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering, 1989, Ain – shams university.
- 37 Ahmed Diab, A need For Strength Durability Factor. 6<sup>th</sup> Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering, 2007.
- 38 Ahmed Diab, Sea Water Concrete Durability Tests and Field Study
- 39 Ahmed Diab, Attack – Finish ability – Life – Performance Criterion, Keynote Lecture , 6<sup>Th</sup> Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering , 2007.
- 40 Ahmed EL Erain and Abdel karim, M.Ata "Concrete Technology " Alam El kotop
- 41 British Standard Specifications, 1973.
- 42 C. A. Vollick, Effect of revibrating concrete, J. Amer. Conc. Inst., 54, pp. 721-32 (March 1958).
- 43 Concrete manual, 8<sup>th</sup> ed., U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1975.
- 44 Copeland, L. E., and D. L. Kantro, "Hydration of Portland cement," Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, Vol. 2, pp. 387-419. Cement Association of Japan, Tokyo, 1969.
- 45 Counto, V. J., "The effect of the elastic modulus of the aggregate on the elastic modulus, creep, and creep recovery of concrete," Magazine of Concrete Research, Vol. 16, No. 48, pp. 129-138, 1964.
- 46 D. C. Teychenne, R. E. Franklin, and H. C. Erntory, Design of normal concrete Mixes," Building Research Establishment, Transport and Road Research Laboratory, 1975. Reproduced with permission of the Controller of Her Britannic Majesty's Stationery Office.
- 47 D. C. Teychenne, R. E. Franklin, and H. Erntroy, Design of Normal Concrete Mixes, pp. 31 (Department of the Environments, London, H.M.S.O., 1975).

- 48 D. J. McNeely and S. D. Lash, Tensile strength of concrete, J. Amer. Concr. Inst., 60, pp. 751-61 (June 1963).
- 49 D. L. Bloem, Comparison of strength development between Portland cement and Portland Blast-furnace slag cement, Nat. Ready-mixed Conc. Assoc. Publicn. No. 90, pp. 11 (Washington D. C., Oct. 1959).
- 50 E. C. Higginson, in Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, ASTM STP 169A, 1966, pp. 543-555.
- 51 E.S.S. 1031/1992 White Portland Cement.
- 52 E.S.S. 1109/1971 Concrete Aggregate
- 53 E.S.S. 1450/1997 Super Fine Portland Cement (4100).
- 54 E.S.S. 1658/1998 Sampling of Fresh Concrete in the Field, Slump Test, Compacting Factor, Preparing Cylinder, Preparing Cubes, and Curing of Testing Samples.
- 55 E.S.S. 1947/1991 Sampling of Cement.
- 56 E.S.S. 2149/1992 Low Heat Cement.
- 57 E.S.S. 2421/1993 Testing of Physical and Mechanical properties of Cement.
- 58 E.S.S. 2797/1995 Super Sulfate Resisting Cement.
- 59 E.S.S. 3375/1998 Technical Specification for Cement Storage and Dealing with Cement.
- 60 E.S.S. 373/1991 Ordinary Portland Cement & Rapid Hardening.
- 61 E.S.S. 4756/2006 Composition, Conditions, Specification of Common Cement Types.
- 62 E.S.S. 583/1993 Sulfate Resistance Cement.
- 63 E.S.S. 974/1992 Slag Portland Cement.
- 64 E.S.S.1899/1990 Water Reducing, Accelerating and Retarding Admixtures.
- 65 E.S.S.2796/1995 High Slag Cement.
- 66 Ebrahim El Darwish, Moustafa Shehata, Ahmed Diab , H . Abd El khalqe, Estimation of vertical forces between concrete and sheeting in slip from concreting, First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering , December , 1990 .



- 67 Ebrahim El Darwish , Moustafa Shehata , Ahmed Diab , Hafez Elyamany ,The use of plasticizers and super plasticizers on concrete Military Technical Faculty Colloquium , 1991 .
- 68 Ebrahim El Darwish , M.Shehata , Ahmed Diab ; Hosam Ebrahim ,Performance of concrete in marine environment , First Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering 1990.
- 69 Ebrahim El Darwish , Moustafa Shehata , Ahmed Diab , M. Elgelany, Corrosion of steel reinforcement in concrete , Concrete In The Service Of Mankind University Of Dundee, Scotland, Uk 24-26 June 1996 .
- 70 Ebrahim El Darwish , M.Shehata , Ahmed Diab , M. El Sabawy Properties of refractory concrete using Egyptian kaolin , 7 th International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering , 1996 , Ain – shams university .
- 71 Ebrahim El Darwish , M.Shehata , Ahmed Diab , M. Mohamed , Effect of cement type on properties of hard pink lime stone concrete , 2 nd Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering April 1994.
- 72 Ebrahim Eldarwish and Aly Eldarwish."Concrete, materials Technology, quality control" Monshat El Maavief, Alex Egypt.
- 73 Ebrahim Eldarwish, "Concrete mixes" Monshat El Maavief, Alex Egypt.
- 74 Ebrahim T., Slate F.O. And Nilson A.H., "Stress-Strain Response And Fracture Of Concrete in Biaxial Loading", ACI Journal, Vol . 75, July, 1978, PP. 306-312.
- 75 Egyptian Code for Design And Construction Concrete Structures, , Index Of Tests , ( دليل الاختبارات ) Code No 203 , Cairo , 2001.
- 76 Egyptian Code for Design And Construction Concrete Structures , Code No 203 , Cairo , 2001 .
- 77 G. E. Monfore, The electrical resistivity of concrete, J. Portl. Cem. Assoc. Research and Development Laboratories, 10, No. 2, pp. 35-48 (My 1968).
- 78 G. J. Verbeck and C. W. Foster, Long-time study of cement performance in concrete, Chapter 6: The heats of hydration of the cements, Proc. ASTM, 50, pp. 1235-57 (1950).

- 79 G. L. Kalousek, Abnormal set of Portland cement. Causes and Correctives, Rept. REC. OPC 69-2, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1969.
- 80 H. C. Erntroy and B. W. Shacklock, Design of high-strength concrete mixes, Proc. Of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, pp. 55-56 (London, Cement and Concrete Assoc., May 1954).
- 81 Hafez Elyammany, The Use of Plasticizers and Super-Plasticizers in Concrete, MS.C, Alexandria Faculty of Engineering, 1989.
- 82 H. Gonnerman and E. C. Shman, Compressive, flexure, and tension tests of plain concrete, Proc. ASTM, 28, Part II, pp. 67-76.
- 83 H. H. Newlon, Variability of Portland cement concrete, Proceedings, National Conf. on statistical Quality Control Methodology in Highway and Airfield Construction, pp. 259-84 (University of Virginia School of General Studies, Charlottesville, 1966).
- 84 H. Hansen, A. Kielland, K. E. C. Nielsen, and Yhaulow, Compressive strength of concrete – cube or cylinder? RILEM Bul. No. 17, pp. 23-30 (Paris, Dec. 1962).
- 85 H. Kasami, Effect of elevated temperature exposure on the properties of concrete, Takenaka Tech. Res. Rept. No. 13, pp. 24-32 (Tokyo, Takenaka Technical Research Laboratory, April 1975).
- 86 H. Wenander, Concrete Construction, Vol. 20, No. 2, 1975, 40-42, Concrete Construction Publications, Inc. 329 Interstate Road, Addison, II. 60101.
- 87 I. Ebrahim Eldarweesh, Ali Eldarweesh, Concrete, Its Material, Industry, Quality Control and Repair, Menshat Elmaarif, Alexandria, 1997.
- 88 Impact And Abrasion Modles Derived from Experimental Data Civil Engineering Research Magazine Faculty Of Eng. El Azhar, 2002.
- 89 J. C. Marchal, Variations in the modulus of elasticity and Poisson's ratio with temperature, Int. Seminar on Concrete for Nuclear Reactors, Amer. Concr. Inst. Sp. Piblicn. No. 34, 1, pp. 495-503 (1972).

- 90 J. C. Saemann and G. W. Washa, Variation of mortar and concrete properties with temperature, J. Amer. Conc. Inst., 54, pp. 385-95 (Nov. 1957).
- 91 J. Moksnes, Concrete in offshore structures, Concrete Structures – Norwegian Inst. Technology Symp., Trondhiem, Oct. 1978, pp. 163-76 (1978).
- 92 J. W. Mardok and C. E. Keslr, Effect of length to diameter ratio of specimen on the apparent compressive strength of concrete, ASTM Bul., pp. 68-73 (April 1957).
- 93 K. M. Alexander, J. Wardlaw, and D. J. Gilbert, in The Structure of Concrete, ed. A. E. Brooks and K. Newman, Cement and Concrete Association, London, 1968, pp. 59-81.
- 94 K. Newman, in Composite Materials, L. Holiday, ed., Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1966, pp. 336-452.
- 95 Kesler, C. E., "Control of expansive concretes during construction," Proceedings ASCE, Journal of the Construction Division, Vol. 102, No. CO1, pp. 41-49, 1976.
- 96 Kotsovos M.D., A mathematical Description Of The Strength Properties Of Concrete Under Generalized Stress , Magazine Of Concrete Research , Vol . 31 , No . 108 , September , 1979 , PP. 151-158 .
- 97 L. E. Copeland and D. L. Kantro, in Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, Vol. 2, pp. 387-419.
- 98 L. J. Parrott, The Production and properties of high-strength concrete, Concrete, 3, No. 11, pp. 443-8 (London, Nov. 1969).
- 99 M . M . Shoeb , Sabry , Moaze , Effect Of Fire And Cooling Mode On The Properties Of Slag Mortars , Cement And Concrete Research (USA) Vol . 31 , 2001 .
- 100 M. A. S. Sherif, High Strength Concrete in Egypt, How and Why? MSC, Mansoura Faculty of Engineering, 1987.
- 101 M. Diab, Lap splice of reinforcement steel beams tested in flexure, Ms. C, Alexandria University, Faculty Of Engineering, 2009 .
- 102 M. Nabwi , Sabry , Moaze , Properties Of Crushed Blast – Furnace Slag Mortars , 6 th Int national Conference For Building And Construction , Cairo , Egypt , June 1999 .



- 103 M. Polivka and C. Willson, in Klein Symposium of Expansive Cement Concretes, SP-38, American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1973, p. 235.
- 104 M. S. Abrams, Compressive strength of concrete at temperatures to 1600F, Temperature and Concrete, Amer. Concr. Inst. Sp. Publicn. No. 25, pp. 33-58 (1971).
- 105 M.M , Shoep , Influence Of Agg. Type On Mortar Thermal Stability, Indian Journal Of Engineering, Materials Sciences , Vol . 7. August 2000.
- 106 Moustafa Shehata , Ahmed Diab , Ayman El fazany , Impact strength of fibrous concrete , 2 Nd Alexandria Conference On Structural And Geotechnical Engineering April 1994 .
- 107 Mahmoud Emam "Concrete, properties, Control, Tests El Mansoura , Egypt .
- 108 Masaud Alatif, Effect Of Shrinkge Reducing Admixtures On The Properties Of High – Performance Concrete, M.S.C Alex Facuility Of Engineering.
- 109 Material Staff, Students, High Strength and High Slump Concrete, BSC, Alexandria Faculty of engineering, 1997.
- 110 Mohamed. T., Permeability Of Concrete, Ms.C. Alex. Faculty Of Engineering, 1994.
- 111 Mohamed .Kansouh, The Effect Of Constituents And Chemical Additires On The Properties Of Aluminom Silicate Castable Refractories , Ph.D . Institute Of Graduate Studies & Research, Alex University, 1999.
- 112 Moustafa Shehata "Building materials and tests Faculity of Engineer Alex, Egypt.
- 113 N. G. Zoldeners, Effect of high temperature on concretes incorporating different aggregates, Mines Branch Research Report R.64 (Department of Mines and Technical Surveys, Ottawa, Mat 1960).
- 114 N. Petersons, Ready mixed concrete in Sweden, CBI Reports 5:77, pp. 15 (Swedish Cement and Concrete Research Inst., 1977).
- 115 New materials in Concrete Construction, University of Illinois at Chicago Circle, Chicago, 1972, p. 13-II.

- 116 O. Klienger, in *New Materials in Concrete Construction*, ed., S. P. Shah, University of Illinois at Chicago Circle, Chicago, 1972, p. 10 – VI.
- 117 Osama El Refaie, *Concrete Structures In Arabic Countries* Educational Book Center, Barouit , 1987 .
- 118 P. Grattan – Bellew, in *Proceedings, Fourth International Conference on the Effect of Alkalis in Cement and Concrete*, Purdue University, W. Lafayette, Ind., 1978.
- 119 P. J. F. Wright, The design of concrete mixes on the basis of flexural strength, *Proc. Of a symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete*, pp. 74-6 (London, Cement and Concrete Assoc., May 1954).
- 120 P. J. F. Wright, The effect of the method of test on the flexural strength of concrete, *Mag. Concr. Res.*, 4, No. 11, pp. 67-76.
- 121 P. J. F. Wright, The flexural strength of plain concrete – its measurement and use in designing concrete mixes, *Road Research Technical Paper No. 67* (London, H.M.S.O., 1964).
- 122 P. Kumar Mehta, *Concrete structures properties and materials*, University of California, Burkly, US.
- 123 R. D. Gaynor, One look at concrete compressive strength, NRMCA publicn. No. 147, pp. 11 (National Ready Mixed Concrete Assoc., Silver Spring, Maryland, Nov. 1974).
- 124 R. F. Feldman and P. J. Sereda, A model For hydrated Portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties, *Material and Structures*, No. 6, pp. 509-19 (Paris, Nov.-Dec. 1968).
- 125 R. H. Elvery and J. A. Forrester, Non-destructive testing of concrete, *Progress in Construction, Science and Technology*, pp. 175-216 (Aylesbury, Medical and Technical Publishing, 1971).
- 126 R. H. Elvery and L. A. M. Ibrahim, Ultrasonic assessment of concrete strength at early ages, *Mag. Concr. Res.*, 28, No. 97, pp. 181-90 (Dec. 1976).
- 127 R. Jones and E. N. Gatfield, Testing concrete by an ultrasonic pulse technique, *DSIR Road ResearchTech. Paper No. 34* (London, H.M.S.O., 1955).



- 128 R. W. Carlson, D. L. Houghton and Polivka, Causes and control of cracking in unreinforced mass concrete, J. Amer. Conc. Inst., 76, pp. 821-37 (July 1979).
- 129 R.C. Meiniger, Aggregate abrasion resistance, strength toughness and related properties, ASTM Sp. Tech. Publicn. No. 169B, pp. 657-94 (1978).
- 130 Rasha El Tantawy Effect Of Epoxy Coating On Concrete Bond Strength, M.Sc . , Alex Faculty Of Engineering, 1999.
- 131 Road Research, Design of Concrete Mixes, D.S.I.R. Road Note No. 4 (London, H.M.S.O., 1950).
- 132 S . S .E .Ahmed , M.E.A. ,Salah El Din , Effect Of Silica Fume Addition On The Properties Of Concrete With Different Types Of Cement,Cairo First International Rnference Concrete Structures , January 1996 .
- 133 S. Thaulow, Tensile splitting test and high strength concrete tests cylinder, J. Amer. Concr. Res., 53, pp. 699-706 (Jan. 1957).
- 134 S.Shah , S.H.Ahmed , High Performance Concrete And Applications, Firist Edition London And UK , 1997.
- 135 Schroder, F., " Blastfurance slags and slag cements," Proceedings, Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968, Vol. 4, pp. 149-199. Cement Association of Japan, Tokyo, 1969.
- 136 Seventh International Colloquium On Structural And Geotechnical Engineering 17-19; December, 1996, Ain – shams university
- 137 Sidney Mindess , J, Francis Young , Concrete , Prentic .Hall , INC , New Jersey 07632
- 138 Smith, D. T. "Uniformity and workability," in Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, ASTM STP 169B, pp. 74-101. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., 1978.
- 139 Standard Annual Book of ASTM Standards, 1916 Race st. Philadelphia 19103, 1982.
- 140 T. C. Powers, Structure and physical properties of hardened Portland cement paste, J. Amer. Ceramic Soc., 41, pp. 1-6 (Jan. 1958).

- 141 T. C. Powers, The Physical Structure and Engineering Properties of Concrete, Bulletin No. 90, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1958, and S. Brunauer, American Scientist, Vol. 50, No. 1, 1962, pp. 210-229.
- 142 Tattersall, G. H., The workability of concrete. Cement and Concrete Association, Wexham springs, Slough, U. K., 1976.
- 143 U. Bellander, Strength in concrete strength structures, CBI Report 1:78, pp. 15 (Swedish Cement and Concrete Research Inst., 1978).
- 144 V. M. Malhotra and G. Carette, Comparison of pull-out strength of concrete with compressive strength of cylinders and cores, pulse velocity and rebound number, J. Amer. Concr. Inst., 77, No. 12, pp. 161-70 (1980).
- 145 Verbeck, G. J. "Pore structure," Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, STP 169B, pp. 262-274. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1978.
- 146 Walther R ., The Ultimate Strength Of Prestressed And Conventionally Reinforced Concrete Under The Combined Action Of Moment And Shear , Lehigh University , Fritz Laboratory Report 223.17, October , 1957 .













# أساسيات تكنولوجيا الخرسانة

الأستاذ الدكتور

أحمد محمد دياب

دكتوراه في الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد  
استاذ خوض واختبار المواد - قسم الهندسة الانشائية  
كلية الهندسة - جامعة الاسكندرية ٢٢٢٠١



Bibliotheca Alexandrina



0918854

